

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

---

Studijní program: Chemie

Studijní obor: Chemie životního prostředí



Bc. Pavla Štangelová

## PŘIROZENÉ ZDROJE A ZTRÁTY CHLOROVANÝCH UHLOVODÍKŮ V EKOSYSTÉMU SMRKOVÉHO LESA

Natural sources and sinks of volatile chlorinated hydrocarbons in the  
spruce forest ecosystem

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. RNDr. Eva Tesařová, CSc.

Konzultant: Dr. Sándor T. Forczek, Ph.D.

Praha 2016

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Jsem si vědoma toho, že případné využití výsledků, získaných v této práci, mimo Univerzitu Karlovu v Praze je možné pouze po písemném souhlasu této univerzity.

V Praze, 25.4.2016

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucí své diplomové práce prof. RNDr. Evě Tesařové, CSc. a svému konsultantu Dr. Sándorovi T. Forczekovi, PhD., kteří mi byli po celou dobu nápomocni, za jejich ochotu, užitečné rady a připomínky. Dále bych vyjádřila co nejvroucnější poděkování celé své rodině, zejména však mé mamince a mému příteli, za jejich důvěru ve mne vloženou a neutuchající podporu po dobu celého mého studia.

## Abstrakt

Biogeochemický cyklus chloru, zvláště tvorba organicky vázaného chloru, není doposud příliš prozkoumán. V kontinentálních ekosystémech jsou chloridy významné nejen jako zdroj chloru, ale také jako stresový faktor. Chloridy pocházejí ze srážek, z oblačnosti tvořené nad mořem. Organicky vázaný chlor je v životním prostředí tvořen biotickou i abiotickou cestou. Biotickými faktory jsou mikroorganismy, rostliny, půdní enzymy a živočichové. Jednu skupinu organicky vázaného chloru představují těkavé chlorované uhlovodíky. Některé těkavé chlorované uhlovodíky reagují s atmosférickým ozonem, následkem čehož je rozklad ozonové vrstvy. Nejvýznamnějším pevninským zdrojem těkavých halogenovaných uhlovodíků je ekosystém smrkového lesa. Chloridy v půdě se mohou pomocí mikroorganismů přeměňovat na organicky vázaný chlor, nebo putují transpiračními proudy v rostlinách, kde jsou také enzymaticky přeměňovány na organicky vázaný chlor, oba pak mohou být emitovány do atmosféry. Přílišné množství chloridů však může negativně ovlivnit fyziologické funkce rostlin. V rámci této práce byly navrženy pokusy k naměření přirozených emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků z rostlin a hub, s různě dlouhými dobami inkubace a také ověření vlivu přídavku chloridů na halogenační procesy. Nejprve byla ověřena vhodnost analytické metody na standardech těkavých halogenovaných uhlovodíků. Bylo zjištěno, že k prekoncentraci vzorků je nejvhodnější SPME vlákno potažené filmem karboxenu/polydimethylsiloxanu. Následně byl ke stanovení použit plynový chromatograf s hmotnostní detekcí (GC-MS).

Experimentálně byla potvrzena přirozená tvorba těkavých halogenovaných uhlovodíků přírodními vzorky rostlin i hub. Stanovované vzorky tvořily jak chlorované, tak i bromované těkavé uhlovodíky. Hlavní emitovanou látkou byl chloroform, který byl emitován v koncentracích 2-28 ppm u hub a 3-151 ppb u rostlin, dále pak (E)-1,3-dichlorpropen, tetrachlormethan, bromdichlormethan a 1,2-dibromethan. Množství emisí bylo ovlivněno délkou inkubace, dále pak fyziologickým stavem živých organismů a také koncentrací přidaného roztoku chloridu sodného. Dle mnou provedených měření nižší koncentrace chloridu sodného obsaženého v půdní vodě (0,06 M) ovlivňuje halogenační procesy uvnitř rostlin a zvyšuje tak emise těkavých halogenovaných uhlovodíků do atmosféry. Vyšší koncentrace chloridu sodného (0,12 M) však může halogenační procesy zpomalit, ba přímo zastavit a zahubit tak celou rostlinu. Tím bylo prokázáno, že přídavek chloridu sodného ovlivňuje přirozené halogenační procesy probíhající v rostlinách, čímž změní množství těkavých halogenovaných uhlovodíků emitovaných do atmosféry.

## Abstract

Biogeochemical cycle of chlorine, particularly the formation of organically bound chlorine is still not well understood. In continental ecosystems chlorides act as source of chlorine, and also as a stress factor. Chlorides originate from precipitation of marine cloud masses. Organically bound chlorine in the environment is formed naturally by biotical and abiotical way. The biotical factors are microorganisms, plants, soil enzymes and animals. Volatile chlorinated hydrocarbons (VOCl) represent one group of organically bound chlorines. Several volatile chlorinated hydrocarbons reacts with atmospheric ozone, consequently causing depletion of the ozone layer. The most important known terrestrial source of volatile chlorinated hydrocarbons is the spruce forest ecosystem. Chlorine in the soil can be transformed by microorganisms into organically bound chlorine or translocated by transpiration stream in plants, where they are also transformed enzymatically into organically bound chlorine, and both of them can be emitted into the atmosphere. Too large amounts of chloride can affect the physiological functions of plants.

In this thesis experiments were designed for measuring the natural emissions of volatile halogenated hydrocarbons from plants and fungi, with various periods of incubation, and also to confirm the influence of addition of chloride to the halogenation processes. At first the suitability of analytical method was verified on standards of volatile halogenated hydrocarbons. It was found that for preconcentration of samples the most suitable SPME fiber is coated with carboxen/polydimethylsiloxane coating. For determination gas chromatography with mass spectrometric detection (GC-MS) was subsequently used.

Natural formation of volatile halogenated hydrocarbons by plants and fungi was confirmed experimentally. Both chlorinated and brominated volatile hydrocarbons were found to be emitted by the samples. The most frequently emitted compound was chloroform, which was emitted in the concentration range 2-28 ppm for fungi and 3-151 ppb for plants, followed by (E)-1,3-dichloropropene, tetrachloromethane, bromodichloromethane and 1,2-dibromoethane. The amount of emission depended on the incubation time, physiological condition of analyzed plants and fungi and was also influenced by the concentrations of added sodium chloride. According to my measurements low concentrations of sodium chloride in soil water (0,06 M) affected the halogenation processes in plants, thereby increasing the emissions of volatile halogenated hydrocarbons into the atmosphere. Higher concentrations of sodium chloride (0,12 M) can slow down or stop halogenation processes and kill the whole plant. It has been proved that addition of sodium chloride affects the natural halogenation processes of plants, thereby changing the amount of volatile halogenated hydrocarbons emitted into the atmosphere.

**Klíčová slova: těkavé halogenované uhlovodíky, přirozená tvorba, mechorosty, kapradiny, houby, solný stres, SPME, GC-MS**

**Key words: chlorinated volatile hydrocarbons, natural resources, bryophytes, ferns, fungi, salt stress, SPME, GC-MS**

## Seznam použitých zkratek

CAR	Karboxen
CFC	Chloro-fluorované uhlovodíky
DI-SPME	Přímá SPME
DVB	Divinylbenzen
DW	Suchá váha
GC-MS	Plynová chromatografie s hmotnostní detekcí
HS-SPME	Head-space SPME
$L_{1,2}$	Interval spolehlivosti
NaCl	Chlorid sodný
PDMS	Polydimethylsiloxan
PEG	Polyethylenglykol
SDR	Relativní směrodatná odchylka
SPME	Mikroextrakce na tuhé fázi
VOC1	Těkavé chlorované uhlovodíky

## Obsah

Abstrakt.....	4
Abstract.....	5
Seznam použitých zkratk .....	7
Obsah .....	8
1 Cíle práce .....	10
2 Teoretický úvod.....	11
2.1 Chlor .....	11
2.1.1 Rezervoáry chloru .....	12
2.1.2 Koloběh chloru.....	13
2.2 Organohalogeny .....	14
2.2.1 Přirozené organohalogeny .....	14
2.2.2 Biogenní zdroje organohalogenů .....	14
2.2.3 Abiogenní zdroje organohalogenů .....	18
2.2.4 Antropogenní organohalogeny.....	18
2.2.5 Vliv emisí organohalogenů na životní prostředí .....	19
2.3 Chlor v lesním ekosystému.....	22
2.3.1 Příjem chloru rostlinami .....	23
2.3.2 Přeměna chloridu na organický chlor v lesním ekosystému .....	23
2.3.3 Osud organohalogenů v lesním ekosystému.....	25
3 Materiály a metody .....	27
3.1 Charakterizace odběrových míst .....	27
3.2 Odběr vzorků.....	27
3.3 Vybrané přírodní vzorky.....	27
3.3.1 Mechorosty .....	27
3.3.2 Kaprad'orosty .....	30
3.3.3 Přesličky .....	30
3.3.4 Houby .....	31
3.4 Použité materiály.....	33
3.5 Metody.....	34
3.5.1 Plynová chromatografie s hmotností detekcí.....	34
3.5.2 Plynová chromatografie spojená s mikroextrakcí na tuhé fázi .....	36
3.5.3 Příprava pokusů pro stanovení.....	38



4	Výsledky .....	42
4.1	Vyhodnocení pokusů pro určení vhodného SPME vlákna .....	42
4.1.1	Určení retenčních časů jednotlivých organohalogenů metodou GC-MS a HS-SPME .....	42
4.1.2	Určení vhodného SPME vlákna pro stanovení halogenovaných uhlovodíků ....	42
4.2	Analýza koncentrace emisí organohalogenů v přírodních vzorcích .....	43
4.2.1	Stanovení kalibračních závislostí pro stanovované organohalogeny .....	43
4.2.2	Stanovení koncentrací emisí organohalogenů v přírodních vzorcích .....	44
4.2.3	Stanovení koncentrací emisí organohalogenů ve vzorcích hub .....	66
4.3	Chemická diverzita a efekt přídavku chloridu sodného .....	79
4.4	Korelační analýza .....	82
5	Diskuze.....	83
6	Závěr .....	90
7	Použitá literatura.....	92
8	Přílohy .....	1

## **1 Cíle práce**

1. Provedení literární rešerše na téma výskytu zdrojů chlorovaných látek v ekosystému jehličnatého lesa a jejich významu v životním prostředí
2. Odběry přírodních vzorků v terénu
3. Seznámení s analytickými metodami SPME a GC-MS
4. Ověření vhodnosti metodiky stanovení těkavých chlorovaných uhlovodíků plynovou chromatografií
5. Stanovení koncentrace emisí těkavých chlorovaných uhlovodíků u vybraných přírodních vzorků, a ověření efektu přídavku chloridu sodného na přirozené chlorační procesy
6. Zhodnocení potvrzených chloračních procesů na základě výsledků práce

## 2 Teoretický úvod

### 2.1 Chlor

Chlor byl objeven roku 1774 Carlem Wilhelmem Scheelem, jeho název pochází z řeckého slova „chloros“, což znamená žlutozelený a patří do skupiny halogenů (solitvorných), kterou v roce 1811 pojmenoval Humphrey Davy, kvůli unikátní schopnosti chloru reagovat s kovy přímo za vzniku soli.<sup>1,2</sup>

Stejně jako všechny ostatní prvky, i chlor vznikl ve vesmíru, kde se utvářel a transformoval procesem nukleosyntézy v jádrech hvězd. Rannými analýzami byla zjištěna přítomnost 19 atomů chloru na 10 000 atomů křemíku, novějšími analýzami potom 52 atomů chloru na 10 000 atomů křemíku. Proto je možné odhadovat, že množství chloru v zemském jádře se pohybuje mezi 2 až  $6 \cdot 10^{18}$  t. Nejnovější odhady zařadily chlor jako devatenáctý nejhojněji se vyskytující prvek na Zemi. Přestože je chlor stopovým prvkem, kromě zastoupení v atmosféře a v solných ložiscích, jeho celkové množství v zemi je obrovské.<sup>1</sup>

Existuje přibližně 2000 sloučenin chloru, organických i anorganických, o kterých je známo, že jsou produkovány, transformovány, transportovány a degradovány řadou přírodních geologických, chemických nebo biochemických procesů ve většině přirozených kompartmentů na Zemi.<sup>1</sup>

Pozemský chlor, vzniklý při zformování planety Země ze Sluneční mlhoviny, se vyskytuje převážně ve třech hlavních rezervoárech: v zemském plášti (99,6 %), v zemské kůře (0,3 %) a v oceánech (0,1 %).<sup>3</sup>

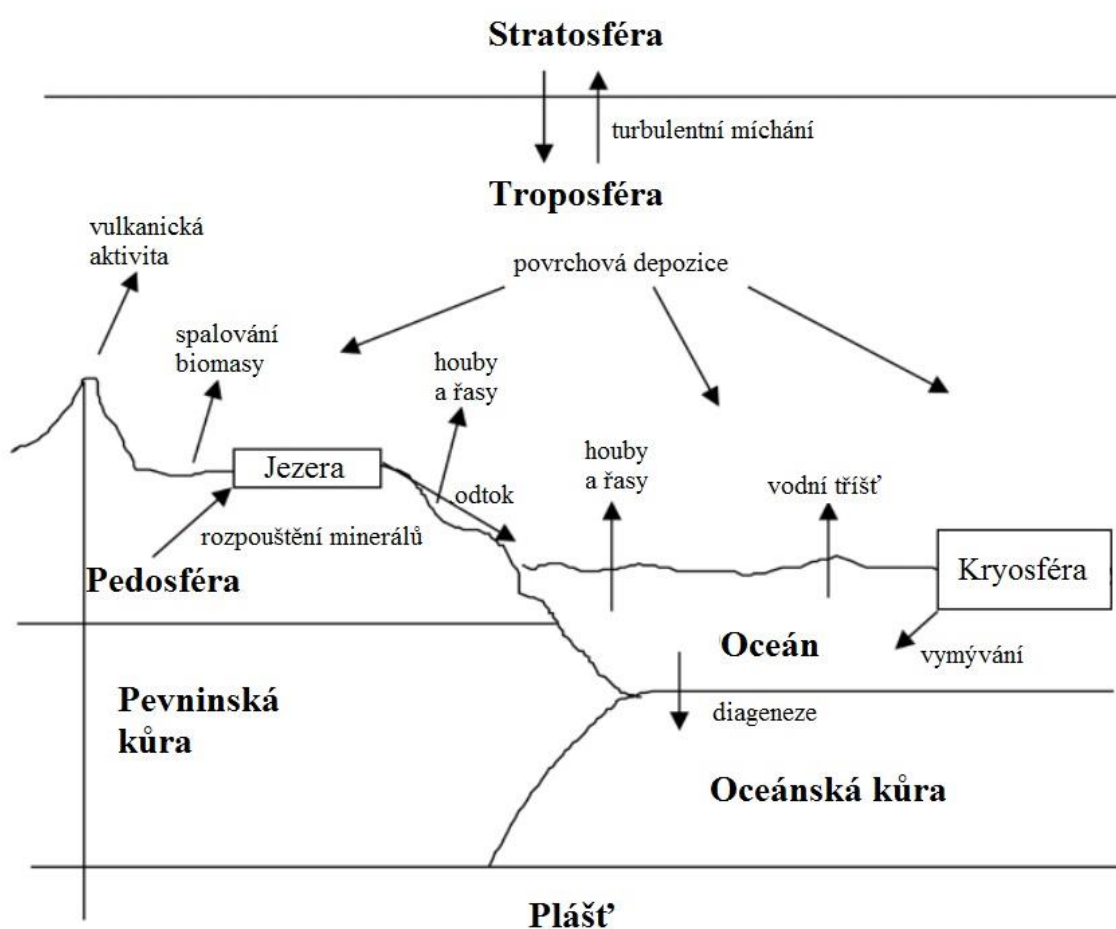
Zemi lze rozdělit na tři geologické kompartmenty: jádro, plášť a kůru. V průběhu času, všechny složky migrují uvnitř a mezi těmito kompartmenty, přičemž jsou zároveň transportovány a transformovány, což vede ke vzniku globálních biogeochemických cyklů a s nimi spojených endogenních a exogenních sub-cyklů. Endogenní cykly zahrnují transport netěkavých prvků prostřednictvím magmatu, sedimentárních a metamorfovaných hornin. Exogenní cykly zahrnují těkavé a ve vodě rozpustné prvky v hydrosféře, atmosféře a biosféře. Ačkoli je chlor jedním z nejzastoupenějších prvků na Zemi, ještě nedávno se věřilo, že jsou všechny chlorované organické látky xenobiotika, a že se nepodílejí na biologických procesech. Avšak důkazy mnohaletého výzkumu odhalily, že chlor hraje aktivní roli ve složitém biogeochemickém cyklu. Široká škála organismů je schopna přeměňovat chlorid na organické sloučeniny chloru.<sup>4</sup>

Přes množství chloru obsaženého na Zemi a jeho biologickou a biochemickou významnost, nebyly distribuce a toky chlorovaných sloučenin doposud podrobně prozkoumány.

### 2.1.1 Rezervoáry chloru

Chlor na Zemi se vyskytuje v několika hlavních rezervoárech (Obrázek 1.), v horninách v zemském plášti a kůře, v půdě v pedosféře, ve sladké vodě v jezerech, řekách a podzemní vodě, ve slané vodě v mořích a oceánech, v kryosféře v ledovcích, v nižší vrstvě atmosféry (troposféře) a střední vrstvě atmosféry (stratosféře).

Pouze chlor obsažený v oceánech se pohybuje snadno, koluje mezi troposférou a stratosférou, skrz pedosféru, povrchové vody i kryosféru. Mezi těmito rezervoáry jsou uskutečňovány látkové toky chloru všemi možnými cestami. Nejdůležitější z nich je přechod mořské soli do atmosféry a její návrat na zemský povrch mokrou a suchou depozicí.<sup>3</sup>



**Obrázek 1.** Hlavní zemské rezervoáry chloru a přírodní procesy, které zprostředkovávají přenos chloru mezi rezervoáry<sup>1</sup>

Rezervoár	Množství chloru [g]	Výskyt
Plášť	$22 \cdot 10^{24}$	Minerální
Kůra	$60 \cdot 10^{21}$	Minerální
Oceány	$26 \cdot 10^{21}$	Iontový
Pedosféra	$24 \cdot 10^{15}$	Minerální
Sladká voda	$320 \cdot 10^{15}$	Iontový
Kryosféra	$0,5 \cdot 10^9$	Iontový
Troposféra	$4,3 \cdot 10^{12}$	Plynný
Troposféra	$1,0 \cdot 10^{12}$	Aerosol
Stratosféra	$0,4 \cdot 10^{12}$	Plynný

**Tabulka 1.** Obsah přírodního chloru v zemských rezervoárech<sup>3</sup>

### 2.1.2 Koloběh chloru

Ve výše uvedené Tabulce 1. je uvedeno osm hlavních rezervoárů chloru a množství chloru v nich uložené. V Tabulce 2. jsou uvedeny hodnoty toků chloru mezi jednotlivými rezervoáry. Velké rozpětí ve velikostech jednotlivých rezervoárů a toků chloru mezi nimi je zřejmé, je z něj možné posoudit hlavní cesty chloru. Nejvíce chloru je zadržováno v zemském plášti, avšak ten je téměř zcela nepřístupný, jeho přenos je možný v podobě vulkanických erupcí. V zemské kůře a pedosféře jsou toky chloru také uskutečňovány pouze v menším množství a to kvůli procesu zvětrávání. Naopak chlor obsažený v hydrosféře je velmi přístupný tokům, proto je to rezervoár, ve kterém začínají všechny významné přenosy chloru.<sup>3</sup>

Transport mezi rezervoáry	Tok Cl [ $10^6$ tun/rok]
<i>Z pláště do troposféry</i>	2
<i>Z pedosféry do troposféry</i>	
Minerální aerosoly	15
Spalování biomasy	3
Bioprodukce	0,5
<i>Ze zemské kůry do sladkých vod</i>	175
<i>Z pedosféry do sladkých vod</i>	
Srážky	34
Solné usazeniny	11
<i>Ze sladkých vod do oceánu</i>	220
<i>Z oceánu do troposféry</i>	
Z mořské soli	6000
HCl z mořské soli	25
Intruze magmatu	4

Bioprodukce	2
<i>Z troposféry na zemský povrch</i>	
Oceány	5990
Pedosféra	34
Kryosféra	6
<i>Z troposféry do stratosféry</i>	0,03
<i>Ze stratosféry do troposféry</i>	0,03
<i>Z oceánu do zemské kůry</i>	17

**Tabulka 2.** Toky chloru mezi zemskými rezervoáry<sup>3</sup>

## 2.2 Organohalogeny

### 2.2.1 Přírodní organohalogeny

Ještě před třiceti lety bylo známo pouze přibližně 200 přírodních organohalogenů (150 chlorovaných a 50 bromovaných látek). Postupem času a rozvíjejícím se výzkumem bylo v roce 2015 známo již více než 5000 halogenovaných látek. K tomuto nárůstu velkou měrou přispělo prozkoumávání oceánů, které produkují značné množství organohalogenů z mořských rostlin, živočichů a bakterií. K objevům na poli organohalogenů přispěl též rozvoj metod odběru vzorků a metodiky stanovení biologicky aktivních sloučenin. Nejvíce biogenních organohalogenů je zjevně mořského původu, mnoho dalších jich bylo nalezeno v suchozemských rostlinách, houbách, lišejnících, bakteriích, hmyzu, u některých vyšších živočichů včetně lidí. Jen v roce 2014 bylo objeveno 114 organohalogenů pocházejících z přírodních zdrojů. Jejich počet stále stoupá, každý rok je nalezeno 100 až 200 nových biogenních organohalogenů.<sup>5,6</sup>

### 2.2.2 Biogenní zdroje organohalogenů

#### 2.2.2.1 Bakterie

Přes svou nepatrnou velikost jsou bakterie velice významné organismy syntetizující chemické sloučeniny a jejich metabolity se často vyznačují ohromující strukturální rozmanitostí a složitostí. Více než 60 druhů *Streptomyces* produkuje organohalogenové metabolity a bakterie *Amycolatopsis orientalis* produkuje glykopeptidové antibiotikum vankomycin, které bylo 50 let užíváno k léčbě infekcí, resistantních na léčku penicilinem.<sup>7</sup> Dva atomy chloru obsažené ve vankomycinu jsou esenciální pro jeho optimální biologickou aktivitu.

### 2.2.2.2 Houby a lišejníky

Houby a lišejníky produkují širokou škálu organohalogenů, od jednoduchého methylchloridu a chloroformu až po neobyčejně složité sloučeniny. Houby se se vyvinuly před miliardou let a nejstarší fosilie lišejníků jsou 400 milionů let staré. Nejstarší objevené biogenní organohalogeny obsahující chlor jsou metabolity hub griseofulvin, chloramfenikol, aureomycin, caldariomycin, sporidesmin, a ochratoxin A.<sup>8</sup>

Studiem tří druhů hub (*Mycena metata*, *Peniophora pseudopini* a *Caldariomyces fumago*) se ukázalo, že dokáží vyprodukovat de novo až 70 µg chloroformu na 1 litr kultury za den a celkově za 40 dní vyprodukují 5000-8000 ng chloroformu na kulturu.<sup>9</sup>

Stopkovýtrusné houby (*Basidiomycetes*) jsou ekologicky významné vyšší houby syntetizující tři skupiny organohalogenů: methylhalogeny, halogenované organické sloučeniny a haloalifatické sloučeniny. Již bylo identifikováno 53 halogenovaných metabolitů ve 34 druzích stopkovýtrusných hub. Tyto organohalogenové metabolity mají prokazatelné fyziologické funkce jako antibiotika, donory methyl skupin a substráty pro H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tvořící oxidázy. Koncentrace chlorovaných aromatických metabolitů v přirozených ekosystémech stopkovýtrusných hub překračují normy pro nebezpečný odpad pro antropogenní znečištění půdy chlorfenoly.<sup>10</sup>

Čirůvka fialová (*Lepista nuda*) je jedním ze zástupců stopkovýtrusných hub, schopná produkovat organicky vázané halogeny, jako např. chlorované benzaldehydy, které byly detekovány de novo v množství 0,2-82 µg na gram suché váhy.<sup>11</sup>

První emise methylchloridu, methylbromidu a methyljodidu z ektomykorhizálních hub byly naměřeny 0,003-65 µg methylchloridu, 0,001-3 µg methylbromidu, a 0,02-12 µg methyljodidu v g suché váhy hub za den. Ektomykorhizální houby mohou tedy být důležitým zdrojem methylhalidů v atmosféře.<sup>12</sup>

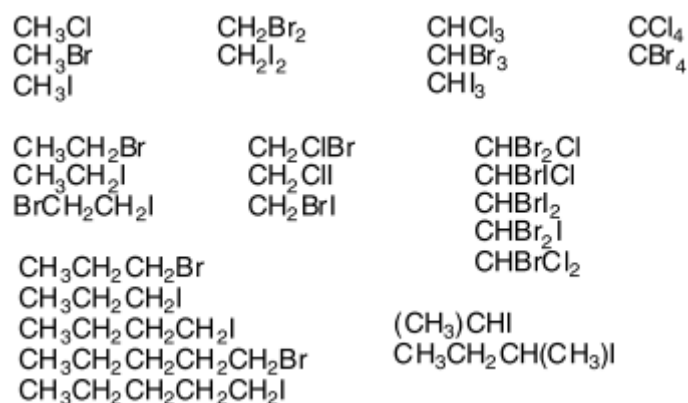
Dalším zdrojem organohalogenů mohou být dřevokazné houby, jako například houby z čeledi kožovkovitých *Phellinus* a *Inotus*, u kterých je prokázána produkce methylchloridu.<sup>13</sup>

Methylchlorid byl naměřen i u tropických druhů dřevokazných hub, což vzhledem k tomu, že 85 % celkových atmosférických zdrojů pochází ze zeměpisných oblastí mezi 30°s.š. a 30°j.š.<sup>14</sup> ukazuje na to, že vegetace tropických deštných pralesů by mohla být významným zdrojem methylchloridu.<sup>15</sup>

### 2.2.2.3 Mořské rostliny a řasy

Mořské rostliny, mořské řasy i fytoplankton, produkují řadu jednoduchých i složitých organohalogenů, patrně jako chemickou ochranu proti patogenům. Celkově tvoří až 25 %

všech známých biogenních organohalogenů. Některé vybrané jednoduché halogenalkany produkované mořskými řasami jsou uvedeny na Obrázku 2. Kultury mořského fytoplanktonu produkují methylchlorid, methylbromid a methyljodid. A například velmi populární jedlá řasa *Asparagopsis taxiformis* obsahuje více než 100 organohalogenů, které byly donedávna neznámými sloučeninami. Hlavním organohalogenem v této řase je bromoform, který v mořských řasách působí odpudivě, proti okusu, a antibakteriálně. I mořské řasy pocházející z polárních regionů produkují několik různých druhů halogenalkanů. Mnoho látek izolovaných z mořských řas vykazuje zajímavé biologické účinky, například plocamen B, trichlorcyklohexenový derivát izolovaný z červené řasy *Plocaminum violaceum* se svými insekticidními účinky vůči larvám komárů vyrovná DDT. Také sinice jsou zdrojem velkého množství halogenovaných, převážně chlorovaných, metabolitů.<sup>16,17,18,19,20,21</sup>



**Obrázek 2.** Vybrané druhy halogenalkanů produkovaných mořskými řasami

#### 2.2.2.4 Mořské organismy

Vzhledem k hojnému zastoupení chloridů a bromidů v oceánech, je zřejmé, že nejvíce biogenních organohalogenů je mořského původu. Velké množství mořských organismů obsahuje jak bromované tak i chlorované látky.<sup>5</sup>

Z živočichů produkujících ohromující množství přirozených organohalogenů jsou to kupříkladu sumky, nahožábří plži, rohovitky, mechovci a žaludovci.<sup>22</sup>

#### 2.2.2.5 Suchozemské rostliny

Ve srovnání s mořskými rostlinami, suchozemské rostliny vylučují poměrně málo halogenovaných sloučenin. Přesto existuje mnoho výjimek. Růstový hormon 4-chlorindol-3-octová kyselina a její methylester jsou syntetizovány rostlinami hrachu, čočky, vikve a fazolí, byla u něj nalezena vysoká kancerostatická aktivita.<sup>22,23</sup>



Organohalogeny methylbromid a methylchlorid jsou produkovány několika rostlinnými zdroji. Methylchlorid je produkován bramborovými hlízkami a methylbromid, používaný průmyslově jako fumigant a nematocid je přirozeně produkován brokolicí, zelím, ředkvičkami, tuřínem a semeny řepky olejky.<sup>22</sup>

Celková roční produkce methylbromidu řepkou olejkou a zelím je odhadovaná na 6600 tun a 400 tun. Vzhledem k všudypřítomné distribuci bromidu v půdě je produkce methylbromidu suchozemskými vyššími rostlinami velkým zdrojem pro atmosférický methylbromid.

Jedlá japonská lilie (*Lilium maximowiczii*) produkuje v místě infekce sedm nových druhů chlorfenolových fungicidů jako reakci na napadení patogenní houbou srpovničkou špičatovýtrusou (*Fusarium oxysporum*).<sup>22</sup>

Více než 130 chlorovaných sloučenin bylo izolováno z vyšších rostlin a mečů, téměř polovina jich jsou polyacetyleny, thiofeny a seskviterpeny laktonů z čeledi hvězdnicovitých (*Asteraceae*). Chlorovaný chlorofyl může být významnou částí fotosystému I. Mnoho sloučenin jako jsou chlorhydriny je izolováno spolu s příbuznými epoxidy. Sloučeniny jako gibberellin A<sub>6</sub> hypochlorid z fazolí jsou nejspíše artefakty.<sup>23</sup>

Speciální analýza kapradiny papratky samičí (*Athyrium filix-femina*) a mechu ploníku obecného (*Polytrichum commune* Hedw.) odhalila emise chloroformu, tetrachlormethanu a 1,1,1-trichlorethanu.<sup>24</sup>

Také rostliny rýže produkují svými listy methyljodid a methylbromid. Koncentrace chloridového, bromidového a jodidového iontu v rostlinném materiálu se mění se změnou ročního období.<sup>25</sup>

Chloroform je jednou z hlavních plynných biogenních chlorovaných látek, je emitován mnoha přirozenými zdroji včetně oceánů a suchozemských oblastí. Produkuje jej cypřišovitý strom zerav západní (*Thuja occidentalis*), ovoce stromu sapodila, některé druhy mečů, pomeranče i citrony.<sup>5,26,27</sup>

Nedávno byly jako přirozené zdroje emisí chloroformu do životního prostředí identifikovány lesy. Roční emise chloroformu do atmosféry z lesů jsou srovnatelné s ostatními přirozenými zdroji. V současnosti jsou lesy známy pouze jako drobný zdroj z celkového biogenního toku chloroformu, s příspěvkem menším než 1 % z ročního atmosférického vstupu. Přesto jsou však známá pouze data ze severských mírných lesů, rozsáhlé deštné pralesy by mohly odhalit doposud neznámý zdroj chloroformu.<sup>28</sup>

#### 2.2.2.6 Hmyz

Je známo, že hmyz využívá ke komunikaci (feromony) a ochraně (allomony) chemické látky, avšak jen málo z nich má ve své struktuře zabudovaný halogen. Takovou látkou je kupříkladu 2,6-dichlorfenol, pohlavní feromon vylučovaný několika druhy klíšťat.

Chlorované látky však produkují i termity. Produkce chloroformu, byla zjištěna u několika druhů termitů, jeho koncentrace uvnitř termitiště je až 1000x větší než v jeho okolí, proto by mohla být termitiště dalším významným globálním zdrojem chloroformu.<sup>29</sup>

#### 2.2.2.7 Vyšší živočichové a člověk

Přirozené organohalogeny jsou u vyšších živočichů vzácné, ale existuje několik výjimek. Pralesnička trojbarvá (*Epipedobates tricolor*) žijící v Ekvádoru produkuje epibatidin, který je 500-1000x silnější analgetikum než morfium. Silný inhibitor monoaminoxidázy 3-chlorokarbazol byl objeven v hovězí moči a ve štítné žláze psů byly nalezeny jodolaktony.<sup>8</sup> Bylo objeveno několik halogenovaných sloučenin, které vznikají činností lidských bílých krvinek, ty obsahují myeloperoxidázu, která při napadení organismu patogenem nebo při rozličných onemocněních vyvolá halogenaci. Lidská myeloperoxidáza je schopná přeměnit chlorfenoly na chlorované dioxiny a dibenzofurany, což dokazuje možnost biosyntézy dioxinů v lidském těle.<sup>30</sup>

#### 2.2.3 Abiogení zdroje organohalogenů

Přirozené zdroje požárů, jako je hoření biomasy, vulkanická aktivita a geotermální procesy emitují rozsáhlé množství organohalogenů. Vulkanická aktivita produkuje obrovské množství organohalogenů, včetně 100 chlorovaných, 25 bromovaných, 5 fluorovaných a 4 jodované organické sloučeniny.<sup>31</sup>

#### 2.2.4 Antropogenní organohalogeny

Organohalogeny jsou široce využívány v průmyslu jako rozpouštědla, v medicíně jako inhalační anestetika, dále jako chladiva, pesticidy a fumiganty. Řada průmyslových produktů, jako jsou polymery, chemikálie, léčiva nebo ultra-čisté kovy, které často ve skutečnosti asi neobsahují chlor, se vyrábějí za použití chloru nebo jeho derivátů. Chlor se používá k výrobě polyvinylchloridu (PVC), plastů, herbicidů, pesticidů, ve farmaceutické výrobě, k bělení papíru a desinfekci vody.<sup>20,32,33</sup>

### 2.2.5 Vliv emisí organohalogenů na životní prostředí

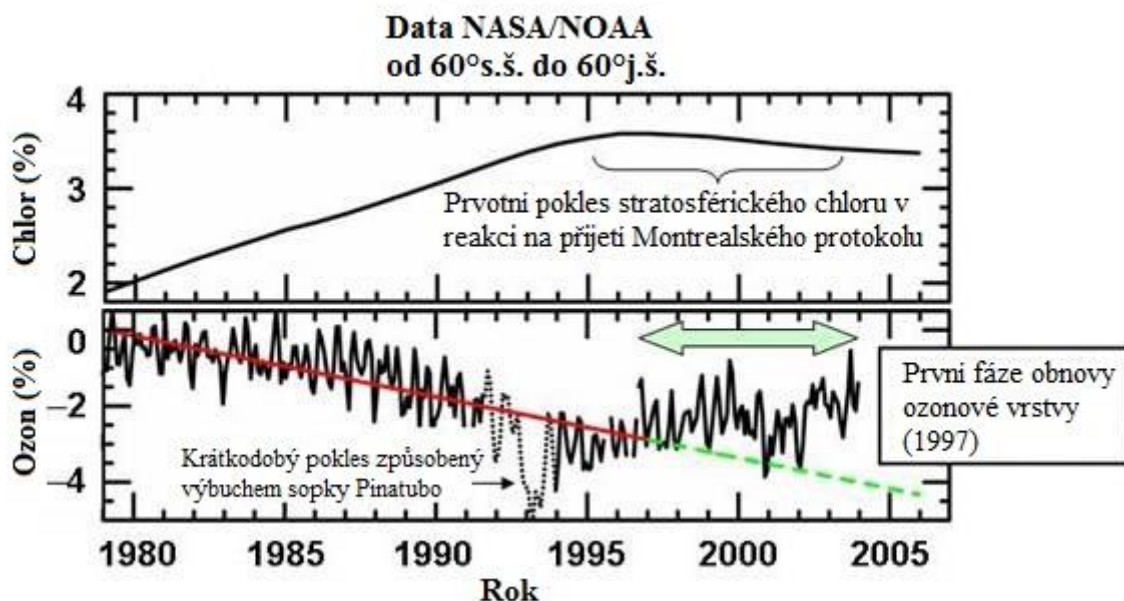
Řada halogenovaných, zejména chlorovaných organických sloučenin vyráběných a používaných člověkem ve velkých množstvích k nejrůznějším účelům se ukázala být při průniku do životního prostředí krajně škodlivá. Antropogenní organohalogeny jsou silné skleníkové plyny rozkládající stratosférický ozon. Trichlorethan je široce průmyslově používaný významný zdroj hydroxylových radikálů, který určuje životnost skleníkových plynů a ostatních polutantů v atmosféře. Nejvyšší emise trichlorethanu byly zaznamenány v roce 1996 a 1997.<sup>34,35,36</sup>

Pokrok ve vývoji spektroskopických technik na začátku sedmdesátých let dvacátého století umožnil měření stopových množství organických látek v atmosféře. Měření ukázala, že chemicky málo reaktivní chlorofluoromethany (CFC), freony, běžně používané jako hnací plyn ve sprejích, chladicí médium v chladničkách, rozpouštědla, či pěniče plastů jsou rozšířené v celé atmosféře. Právě jejich chemická stálost byl jedním z důvodů jejich rozsáhlého průmyslového využití, a stala se příčinou hromadění těchto látek v atmosféře. Ve výškách do 25 km nedochází k rozpadu freonů a malá část těchto plynů se dostává do stratosférických výšek, kde mohou molekuly freonů setrvávat více než 50 let. Chemicky inertní freony pronikají do ozonoféry, kde působením ultrafialového záření dochází k rozkladu chlorovaných uhlovodíků až na radikály chloru, které katalyticky přispívají k rozkladu stratosférického ozonu.<sup>37,38</sup>

Roku 1987 byl v rámci Vídeňské úmluvy přijat tzv. Montrealský protokol, jehož cílem bylo zastavení používání chlorovaných uhlovodíků a chloro-fluorovaných uhlovodíků (CFC) v průmyslově vyspělých zemích do roku 1996. Tato dohoda byla výsledkem společné snahy vědců a politiků jako reakce na hrozbu mizející stratosférické ozonové vrstvy, která slouží jako ochrana planety před škodlivým ultrafialovým zářením (UV), a byla způsobena průmyslovým používáním a uvolňováním CFC do atmosféry.<sup>28</sup>

Na Obrázku 3 jsou v grafu zaznamenána satelitní data ze satelitů NASA/NOAA zobrazující vzrůst stratosférického chloru a korespondující pokles tloušťky ozonové vrstvy od roku 1979 do roku 1997. Jako odpověď na přijetí Montrealského protokolu se po roce 1997 pomalu začala obnovovat ozonová vrstva.<sup>39</sup>

Dlouhá životnost těchto látek v atmosféře a složité atmosférické děje však stále způsobují sezónní úbytky ozonu přetrvávající i v tomto století. Každý rok se nad Antarktidou, kde jsou v zimě teploty nižší a polární promíchávání je silnější a stabilnější, rozevře velká ozonová díra (Obr. 5).<sup>40</sup>

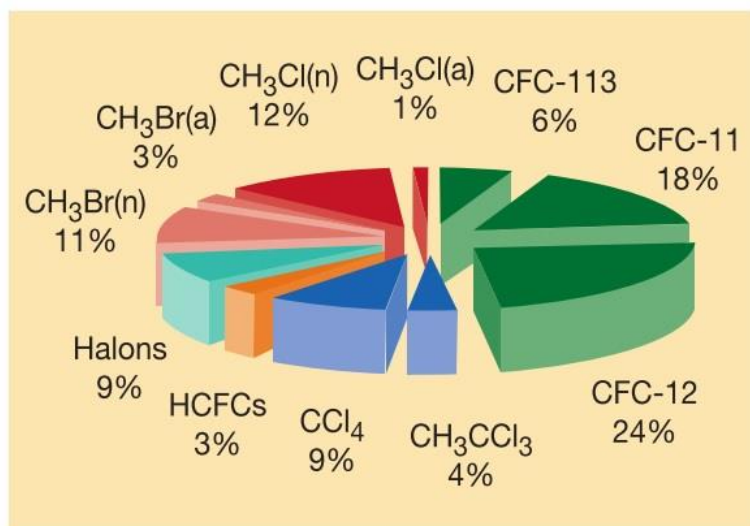


**Obrázek 3.** Satelitní data NASA/NOAA zobrazující průběh růstu stratosférického chloru a korespondující průběh tloušťky ozonové vrstvy od roku 1979 do roku 2007<sup>39</sup>

Mezi další reaktivní sloučeniny obsahující chlor vypouštěné do atmosféry náleží například methylchlorid, dichlormethan, chloroform, trichlorethan, trichlorethen a tetrachlorethen. Ačkoli ovlivňují atmosféru méně významně než CFC, výrazně se podílejí na chemii troposféry. Tyto těkavé chlorované látky mají široké průmyslové využití jako rozpouštědla, složky paliv, meziprodukty v chemickém průmyslu a jsou přidávány do barev, lepidel, benzínu a plastů.<sup>41</sup> Nejvýznamnějším antropogenním zdrojem těchto sloučenin je spalování fosilních paliv, spalování odpadů a především bělení papíru a úprava pitné vody.<sup>42</sup>

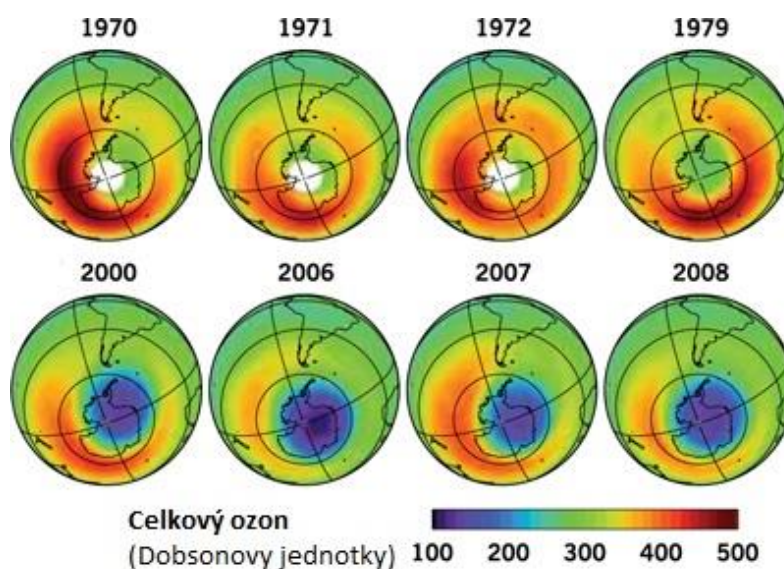
Chemické vlastnosti těkavých chlorovaných uhlovodíků určují i přítomnost jednotlivých uhlovodíků v atmosféře. Nejstabilnější jsou tetrachlormethan a trichlorfluoromethan, nejproměnlivější trichlorethen a tetrachlorethen a proto mají v atmosféře nejkratší životnost. Jejich relativně rychlá atmosférická degradace končí tvorbou toxických produktů, jako jsou fosgen a chlorované kyseliny octové, zejména trichloroctová kyselina.<sup>43</sup>

Na Obrázku 4. je zobrazeno odhadované zastoupení ozon-rozkládajících plyných organohalogenů v troposféře z přirozených i antropogenních zdrojů pro rok 1999. Methylbromid a methylchlorid tvoří přibližně čtvrtinu ekvivalentu chloru z perzistentních organických sloučenin v atmosféře.<sup>44</sup>



**Obrázek 4.** Odhad zastoupení ozon-rozkládajících plyných organohalogenů v troposféře z přirozených (n) i antropogenních (a) zdrojů pro rok 1999<sup>44</sup>

Reaktivní halogenované sloučeniny silně ovlivňují chemii troposféry v nejslabších místech atmosféry na pólech Země, kde se za přítomnosti organohalogenů v ovzduší ozon kompletně rozloží v řádu hodin až dnů. Ve volné troposféře jsou ztráty ozonu v důsledku přítomnosti halogenů srovnatelné se ztrátami v rámci fotochemické destrukce ozonu. Dalším důsledkem přítomnosti organohalogenů v troposféře je zvýšení hladiny hydroxylových radikálů ve volné troposféře.<sup>45</sup>



**Obrázek 5.** Zobrazení antarktické ozonové díry se znázorněnou tloušťkou ozonové vrstvy v Dobsonových jednotkách (DU) v letech 1970, 1971, 1972, 1979, 2000, 2006, 2007 a 2008<sup>46</sup>

## 2.3 Chlor v lesním ekosystému

Lesní ekosystémy jsou jednou z nejdůležitějších složek životního prostředí. Ve druhé polovině dvacátého století se stala poškození lesních ekosystémů velmi diskutovaným a sledovaným problémem. Obecně se přijalo, že odumírání lesa je syndromem ekosystémového stresu, jehož hlavním faktorem je kyselý déšť. Již déle než jedno desetiletí se pozoruje především ve vyšších polohách lesních porostů severní hemisféry úhyn, respektive poškození lesa. Jejich symptomy jsou především předčasná ztráta jehličí, změna tvaru a barvy jehličí a listů, degenerativní změny kořenů, prosychání korun stromů. Společným jevem pro všechny příčiny poškození bývají nejprve světlé chlorózy, postupující od okraje ke středu listů a postupně přecházejí v hnědavé nekrózy jehličí i listů, jelikož jsou téměř bez rozdílu postiženy jak jehličnany, tak i listnaté stromy. Je to patrné především v místech exponovaných světlu.<sup>47,48</sup>

Donedávna chybělo jasné vysvětlení těchto poškození v místech vzdálených průmyslovým centrům a zdrojům známých emisí. Mezi atmosférické polutanty se počítají i těkavé organické sloučeniny, zahrnující jako podskupinu těkavé chlorované uhlovodíky, produkty jejich fotooxidace (např. haloctové kyseliny) a další fotooxidanty (např. přízemní ozon). V některých případech je potvrzené i jejich spolupůsobení s dalšími stresovými faktory, jako jsou nepříznivé klimatické, mikroklimatické, meteorologické, biologické, stanovištní a jiné přírodní podmínky.<sup>47</sup>

Byly zaznamenány případy poškození lesa ve velké vzdálenosti od zdrojů imisí antropogenního původu. Jako možná příčina se již v sedmdesátých letech začaly uvažovat imise chlorovaných C<sub>2</sub>-uhlovodíků. Do té doby se o jejich fyto toxické roli, a ani chlorderivátů methanu, neuvažovalo. Jeden z nich, chloroform, je možno považovat za všudypřítomný. Jeho výskyt v půdní vodě je možno přisuzovat tvorbě z huminových kyselin v půdě, působením půdních mikroorganismů, případně dekarboxylací kyseliny trichloroctové, které byla rovněž nalezena prakticky ve všech složkách lesních ekosystémů.<sup>47</sup>

Těkavé chlorované uhlovodíky, a produkty jejich atmosférické oxidace, mají nepochybně škodlivý účinek na zdravotní stav lesa, za nejvýznamnějšího představitele je považována kyselina trichloroctová, která je známá svými herbicidními účinky. Samostatnou kapitolou průniku chloru do lesního ekosystému jsou dnes posypové soli, kromě toho že chlorid ohrožuje vegetaci u silnic, reaguje s půdou a ovlivňuje kvalitu spodních vod.

### **2.3.1 Příjem chloru rostlinami**

Chlor do lesního ekosystému vstupuje jednak ze zdrojů přírodního původu, srážkami z oceánů, jednak z antropogenních zdrojů. Nejvíce chloru přichází do lesních ekosystémů se srážkovou vodou nebo s aerosoly chloridu, které ulpívají na povrchu listů či jehlic a srážkovou vodou jsou smývány do půdy. Vliv korun stromů na obsah chloridů v podkorunových srážkách je zanedbatelný. Lesní vegetace vstřebává chlor nebo jeho sloučeniny kutikulou. Část jich přechází do půdy, odkud se kořeny a transpiračním proudem v kmenu přemístí a uloží hlavně v listech, respektive v jehličí, jako chlorid či rozpustná organická sloučenina. V půdě se za přispění mikroorganismů odehrává řada biochemických reakcí, při kterých vzniká například chloroform.<sup>48</sup>

### **2.3.2 Přeměna chloridu na organický chlor v lesním ekosystému**

Anorganický chlor je klíčovou složkou řady modelů hodnotících biogeochemická rizika, tyto modely předpokládají, že se anorganický chlor chová v půdě konzervativně. Nicméně, tento předpoklad byl vyvrácen stále rostoucím množstvím studií o přirozené tvorbě organicky vázaného chloru v suchozemských ekosystémech. Existuje stále více důkazů, že je v rostlinách značné množství anorganického chloru přeměňováno na organicky vázaný chlor, tento proces trvale probíhá relativně vysokou rychlostí. Modely pro posuzování rizik zahrnující příjem a transport anorganického chloru vegetací, jsou ovlivňovány přeměnou anorganického chloru na organický, vegetací. Rychlost této přeměny v půdě je ovlivňována řadou faktorů, jako je koncentrace, nebo depozice anorganického chloru, složením organické hmoty, dostupností živin, redoxními ději a ročním obdobím.<sup>49</sup>

Existují nejméně dvě zásobárny organického chloru v suchozemském prostředí. Pomalá zásobárna: chlorohumus, s pomalými rychlostmi přeměny, nízkou mobilitou a se srovnatelně nízkým poměrem chlor-uhlík (listy, opad). Dále pak menší rychlá zásobárna: nízkomolekulární degradační produkty, produkty humusu a nízkomolekulární de novo tvořené látky s výrazně vyššími rychlostmi transformace, větší mobilitou a s větším poměrem chlor-uhlík (organická hmota na podzim, prosaky do půdy).<sup>49</sup>

V následující Tabulce 3. znázorněné typické zastoupení prvků v organické hmotě půdy poukazuje na to, že chlor je klíčovým elementem v organické hmotě.

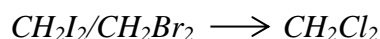
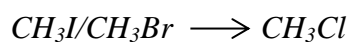
Prvek	Zastoupení prvku v suché organické hmotě (%)
Uhlík	40-50
Kyslík	30-40
Vodík	3-6
Dusík	1-5
Síra	0,1-1,5
Fosfor	0,03-0,2
Chlor	0,01-0,5

**Tabulka 3.** Typické zastoupení prvků v organické hmotě půdy<sup>49</sup>

Osud přirozených organohalogenů, především organických sloučenin chloru, v životním prostředí může pomoci posoudit dopad antropogenní části této skupiny sloučenin na životní prostředí. Halogenované methany ( $\text{CH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{CH}_3\text{Br}$ ,  $\text{CH}_3\text{I}$ ,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{Br}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{I}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{ClBr}$ ,  $\text{CH}_2\text{ClI}$ ,  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CHBr}_3$ ,  $\text{CHBrCl}_2$  a  $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) a halogenované methylfenylethery jsou rozšířeny celosvětově, ať již biogenního nebo antropogenního původu.<sup>50</sup>

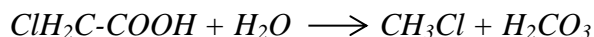
Neantropogenní tvorba organochlorovaných sloučenin probíhá třemi hlavními způsoby:

1) Substituce jódu nebo bromu chlorem ve sloučeninách, které jsou primárně biogenního původu:



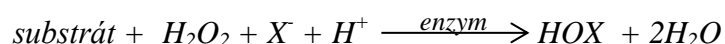
2) Přímá halogenace aromatického systému anisolů a fenolů.

3) Tvorba vazby uhlík-halogen (C-halogen) reakcí aktivované vazby uhlík-vodík (v  $\alpha$ -pozici ke karbonylové ( $>\text{C}=\text{O}$ ), nebo karboxylové ( $-\text{COOH}$ ) skupině) s haloperoxidázami, následované hydrolýzou vazby  $(\text{halogen})_x\text{C}-(\text{C}=\text{O})$ :



Haloperoxidázy jsou enzymy redukující peroxid vodíku (a další peroxidy) za současně probíhající oxidace další sloučeniny, společnou vlastností všech peroxidáz je schopnost detoxikovat  $\text{H}_2\text{O}_2$ .<sup>51</sup>

Haloperoxidázy jsou v přírodě široce rozšířenými enzymy. Jsou schopny provádět obrovské množství reakcí, především halogenace podle následující rovnice, kde HOX je halogenovaný produkt, jeho tvorba je významným mezikrokem halogenace:





Haloperoxidázy, především bromoperoxidázy se nalézají v mořských řasách, v křenu i v mléku. Chloroperoxidáza (CPO) byla poprvé nalezena v *Caldariomyces fumago*, enzym má molární hmotnost okolo 40 000, je tvořen z 25-30 % sacharidy, používá ferriprotoporfyrin IX jako prostetickou skupinu.<sup>50</sup>

V podzolové půdě nekontaminovaného ekosystému smrkového lesa byla detekována haloperoxidázová aktivita, přičemž optimální pH pro chloraci a bromaci leželo v oblasti pH mezi 2,5 a 4. V povrchové vrstvě půdy byla nalezena velmi vysoká haloperoxidázová aktivita dosahující  $4,4-6,8 \cdot 10^3$  mU/kg půdy, oproti tomu v nižších vrstvách půdy je aktivita nižší, mezi 1,5-23 mU/kg půdy.<sup>52</sup>

### 2.3.3 Osud organohalogenů v lesním ekosystému

Halogeny jsou známy svou vysokou schopností migrace v životním prostředí. Stabilní obsah chloru v mořské vodě je 1,9 %, v suchozemské vegetaci 0,3 %, v říční vodě  $2 \cdot 10^{-3}$  % a v atmosférických srážkách  $9 \cdot 10^{-5}$  %. Obsah chloru v podzolové půdě, šedozeми a černozemi se pohybuje v rozsahu  $2-9 \cdot 10^{-3}$  % suché váhy půdy. Specifický obsah se mění s hloubkou půdního profilu. Je známo, že rostliny jsou kořeny schopny přijímat chloridy z půdy. Biologická asimilace chloru je ovlivněna vodním režimem (množstvím srážek, pórovitostí půdy, kapacitou půdní vody, intenzitou evapotranspirace), který určuje koncentrační změny v půdním roztoku v průběhu vegetačního období.<sup>53</sup>

Chlorované uhlovodíky v ovzduší jsou potencionálními strůjci poškození stromů v relativně neznečištěných horských lesích. Zapojují se tedy do ekotoxikologického jevu odumírání lesů. Jejich atmosférická degradace je pomalá, proto se v průmyslově vyspělých zemích rozšiřují od zdrojů emisí do vzdálených venkovských oblastí. Většina těchto látek je poměrně chemicky inertní s nízkou fytotoxicitou, na rozdíl od meziproduktů jejich atmosférické nebo mikrobiální degradace.<sup>54,55</sup>

Kyseliny dichloroctová (DCA) a trichloroctová (TCA) jsou hlavními atmosférickými a metabolickými oxidačními produkty trichlorethenu, tetrachlorethenu a trichlorethanu. TCA je silně fytotoxická, má silné herbicidní účinky na víceleté traviny.<sup>55</sup>

Kyseliny monochloroctová (MCA) i trichloroctová (TCA) významně ovlivňují enzymy metabolismu xenobiotik borovic. Vystavení rostlin MCA a TCA způsobuje změny v oxidativním metabolismu a konjugáčních systémech. Tyto změny enzymových aktivit jsou indikátory environmentálního stresu v rostlinách.<sup>56</sup>

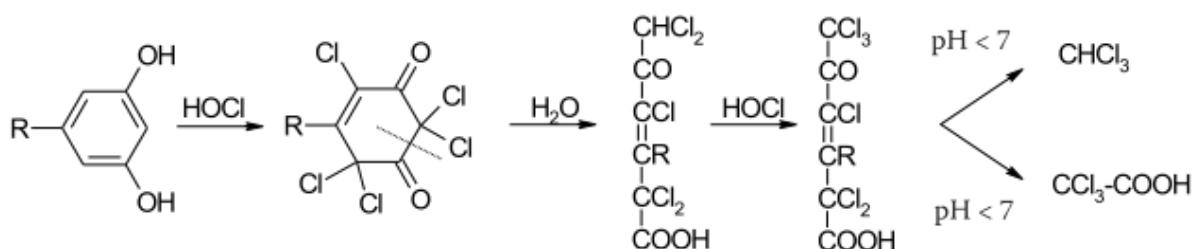
Jehličnany přijímají TCA z atmosféry, atmosférickými srážkami, přes půdu kořeny a TCA dále putuje transpiračními proudy do jehličí, kde ovlivní fotosyntetický aparát rostliny. Stejně

jako v půdě je TCA v jehličnanech pravděpodobně rozkládána mikrobiálně, a to pomocí fylosférických mikroorganismů v jehličí.<sup>57,58</sup>

Významným zdrojem TCA je vznik z kyseliny octové, a to i bez enzymatické katalýzy. Navíc v přítomnosti chloroperoxidázy z *Caldariomyces fumago* za přítomnosti chloridu sodného a peroxidu vodíku vzroste výtěžek TCA na 308 µg/g kyseliny octové. Také huminové kyseliny tvoří za přítomnosti chloroperoxidázy TCA s výtěžkem 200 µg/g kyseliny octové a 150 µg/g kyseliny octové bez přítomnosti chloroperoxidázy.<sup>59</sup>

TCA a chloroform vznikají z huminových látek, peroxidu vodíku, chloridů a chloroperoxidázy. TCA v lesním ekosystému vzniká díky přirozenému pozadí chloridových iontů v půdě.<sup>60</sup>

Na Obrázku 6. je znázorněna tvorba chloroctových kyselin a chloroformu z resorcinolových struktur v huminových kyselinách, nebo ligninu.



**Obrázek 6.** Tvorba chloroctových kyselin a/nebo chloroformu z resorcinolových struktur v huminových kyselinách, nebo ligninu<sup>61</sup>

Typická produkce TCA z lesní půdy v Evropě se pohybuje okolo 1600 g/ha za rok. Oproti tomu je vznik z dešťové vody tisíckrát menší, přibližně 1,6 g/ha za rok. Vzhledem k rozloze zalesněné plochy v Evropě by tok TCA pouze z evropské lesní půdy mohl být až 160 000 tun za rok.<sup>59</sup>

Vzhledem k tomu, že nejsou dostatečně prozkoumány chemické procesy v tropických deštných pralesích, mohly by být tyto tropické lesy významným zdrojem TCA v globálním měřítku.

### 3 Materiály a metody

#### 3.1 Charakterizace odběrových míst

Vzorky mechorostů a kapradin byly odebírány v neznečištěných oblastech Českého ráje, v rašeliništích Brdských lesů v okolí Míšova a v ochranném pásmu okolo přehrady Hamry v Pardubickém kraji.

#### 3.2 Odběr vzorků

Odběry přírodních vzorků mechorostů a kapradin byly prováděny v letech 2014 - 2015 vždy od jara do podzimu. Přírodní vzorky mechorostů, kapradin a přesliček byly odebírány v jejich přirozeném prostředí ekosystému smrkového lesa manuálně lopatkou. Tyto vzorky byly následně uskladněny na volné zelené ploše v areálu ústavů AV ČR, v Krči, mezi odrostlými sazenicemi smrků, mimo možný zdroj kontaminace v laboratoři. Vzorky hub byly získány z Laboratoře biologie hub Mikrobiologického ústavu AV ČR. Za poskytnutí, pěstování a určení hub patří dík RNDr. Haně Hršelové, CSc, a Mgr. Petře Bukovské.

Mechorosty, kapradorosty a zvláště houby mají speciální metabolické cesty, v některých případech značně odlišné od vyšších rostlin, proto jejich studium může přinést nové výsledky i v chloračních studiích. V kontinentálních ekosystémech tyto rostliny pokrývají velkou plochu, a proto je jejich úloha velmi důležitá.

#### 3.3 Vybrané přírodní vzorky

##### 3.3.1 Mechorosty

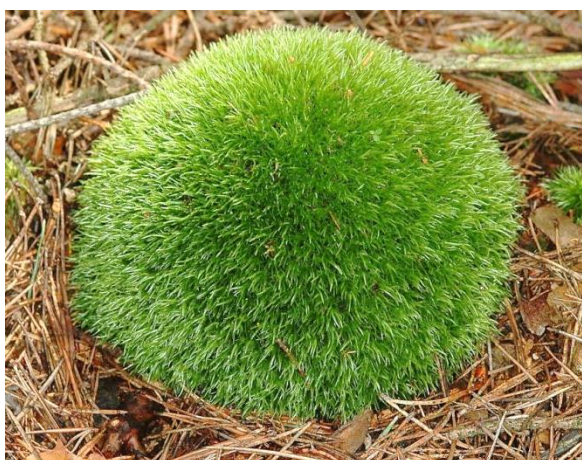
Mechorosty jsou mnohobuněčné zelené výtrusné rostliny, většinou suchozemské, některé druhotně přizpůsobené životu ve vodním prostředí. Ve svém pohlavním rozmnožování však zůstaly dosud vázané na vodní prostředí. Individuální vývoj je charakterizován heteromorfickou, heterofázickou rodozměnou. V jejich individuálním vývoji se střídá zelený fotosyntetizující gametofyt a obvykle nezelený, na gametofytu závislý a jím vyživovaný sporofyt, který vyrůstá na gametofytu z opložené vaječné buňky.<sup>62</sup> Skupina mechorostů se dělí na tři oddělení: mechy, játrovky a hlevíky. Oddělení mechy (*Bryophyta*) je nejvíce specializovaná skupina mechorostů; po krytosemenných rostlinách druhé nejpočetnější oddělení vyšších rostlin. Oddělení játrovky (*Marchantiophyta*), jsou většinou drobné rostliny terestrických ekosystémů vegetující převážně v gametofytní fázi, se značně pomíjivým a časově omezeným výskytem sporofytů.<sup>62</sup>

### 3.3.1.1 Bělomech sivý (*Leucobryum glaucum*)

Bělomech sivý (*Leucobryum glaucum*) je známým druhem ze třídy *Bryopsida*, řádu dvouhrotcotvarých, čeledi bělomechovitých. Jeho přítomnost indikuje zvýšenou podzolizaci půdy. Tento mech má stejně jako rašeliník kromě chlorocyt vytvořené i hyalocyty, je proto schopen pojmout i větší množství vody a změnit barvu na zelenou.<sup>62</sup>

### 3.3.1.2 Ploník ztenčený (*Polytrichum formosum*)

Ploník ztenčený (*Polytrichum formosum*) je běžný druh ze třídy *Polytrichopsida*, řádu ploníkotvarých, čeledi ploníkovitých, rostoucí hlavně ve smrkových lesích.<sup>62</sup>



**Obrázek 7.** Bělomech sivý  
(*Leucobryum glaucum*)<sup>63</sup>



**Obrázek 8.** Ploník ztenčený  
(*Polytrichum formosum*)<sup>64</sup>

### 3.3.1.3 Travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*)

Travník (pokryvnatec) Schreberův (*Pleurozium schreberi*) je nápadný mech ze třídy *Bryopsida*, řádu rokytotvarých, čeledi rokytníkovitých, rostoucí mezi trávou v lesích, jeho lodyžky jsou jednoduše zpeřené.<sup>62</sup>

### 3.3.1.4 Rašeliník kostřbatý (*Sphagnum squarrosum*)

Rod *Sphagnum*, rašeliník ze třídy rašeliníků (*Sphagnopsida*), čeledi rašeliníkovitých, je dominantní rostlinou na rašeliníštích, ale roste i ve vlhkých lesích, na loukách, a na vlhkých skalách. Z druhů rostoucích na našem území je nápadný rašeliník kostřbatý (*Sphagnum squarrosum*), rostoucí v lesních močálech.<sup>62</sup>





**Obrázek 9.** Travník Schreberův  
(*Pleurozium schreberi*)<sup>65</sup>



**Obrázek 10.** Rašeliník kostrbatý  
(*Sphagnum squarrosum*)

### 3.3.1.5 Rokytník skvělý (*Hylocomium splendens*)

Rokytník skvělý (*Hylocomium splendens*) ze třídy *Bryopsida*, řádu rokytotvarých, čeledi rokytníkovitých, má dvojité zpeřené lodyžky, vytváří světlezelené až tmavozelené, matně lesklé patrovitě porosty na vlhkých místech v lesích.<sup>62</sup>

### 3.3.1.6 Měřík čeřitý (*Plagiomnium undulatum*)

Měřík čeřitý (*Plagiomnium undulatum*) je běžným druhem ze třídy *Bryopsida*, řádu prutníkotvarých, čeledi měříkovitých, rostoucím na vlhkých travnatých místech.<sup>62</sup>



**Obrázek 11.** Rokytník skvělý  
(*Hylocomium splendens*)<sup>66</sup>



**Obrázek 12.** Měřík čeřitý  
(*Plagiomnium undulatum*)<sup>63</sup>

### 3.3.1.7 Porostnice mnohotvárná (*Marchantia polymorpha*)

Porostnice patří mezi játrovky, větší počet druhů z rodu porostnice je rozšířen spíše v tropech a na jižní polokouli, u nás roste téměř kosmopolitně rozšířený druh porostnice mnohotvárná (*Marchantia polymorpha*) ze třídy *Marchantiopsida*, řádu *Marchantiales*, čeledi porostnicovitých.<sup>62</sup>



**Obrázek 13.** Porostnice mnohotvárná *Marchantia polymorpha*<sup>63</sup>

### 3.3.2 Kaprad'orosty

#### Puchýřník křehký (*Cystopteris fragilis*)

Kapradiny (*Polypodiophyta*) jsou oddělení výtrusných cévnatých rostlin, čili kaprad'orostů (*Pteridophyta*), jehož zástupci jsou hojně rozšířeni po celé Zemi. Současné druhy jsou z velké většiny byliny, ale v některých tropických oblastech rostou i stromovité druhy.

Puchýřník křehký (*Cystopteris fragilis*) je nižší vytrvalá kapradina z řádu osladičotvarých, čeledi puchýřníkovitých. Osidluje hlavně vlhké skály, staré zdi, studny, kamenité půdy a podobná zastíněná stanoviště.

### 3.3.3 Přesličky

#### Přeslička rolní (*Equisetum arvense*)

Třída přesliček (*Equisetopsida*) obsahuje v současnosti jediný řád přesličkotvaré (*Equisetales*), čeledi přesličkovitých. Další řády jsou vymřelé, na Zemi byly hojně rozšířeny v prvohorách. Přeslička rolní (*Equisetum arvense*) je hojný druh, rozšířený od nížin do hor. Je to nejrozšířenější druh přesliček u nás. Nejčastěji se vyskytuje jako polní plevel, ale může se objevovat i v luzích.





**Obrázek 14.** Puchýrník křehký  
(*Cystopteris fragilis*)<sup>64</sup>



**Obrázek 15.** Přeslička rolní  
(*Equisetum arvense*)

### 3.3.4 Houby

Říše houby (*Fungi*) je nejpočetnější, nejvýznamější a rovněž nejznámější skupina eukaryotických heterotrofních organismů, považovaných donedávna v rámci klasického pojetí za rostliny. Tato říše zahrnuje též tzv. lichenizované houby, které ve spojení s řasami či sinicemi vytvářejí kvalitativně nové organismy - lišejníky.<sup>62</sup>

#### 3.3.4.1 Stopkovýtrusné houby

Stopkovýtrusné houby (*Basidiomycota*) je druhově početné oddělení hub. Bylo popsáno kolem 30 000 druhů, což činí 37% všech popsáných druhů hub.

##### Čirůvka fialová (*Lepista nuda*)

Na podzim se pospolitě v lesích objevuje fialově zbarvená čirůvka fialová (*Lepista nuda*) ze třídy rouškatých (*Agaricomycetes*), řádu pečárkotvarých (*Agaricales*), čeledi čirůvkovitých. Tento jedlý druh se pěstuje uměle v pěstírnách.<sup>62</sup> Roste velmi hojně od září až do nástupu mrazů v lesích všech typů, v parcích, sadech, zahradách, někdy i na loukách. Často ji nacházíme ve skupinách nebo v kruzích.<sup>67</sup>

##### Lištička pomerančová (*Hygrophoropsis aurantiaca*)

Lištička pomerančová (*Hygrophoropsis aurantiaca*) je hojně rozšířená houba ze třídy rouškatých (*Agaricomycetes*), řádu hřibotvarých (*Boletales*), čeledi lištičkovitých. Roste jednotlivě, v malých trsech nebo ve skupinách od podzimu do zimy v jehličnatých a smíšených lesích v mechu či na opadu a rozkládajícím se dřevu jehličnatých stromů. Upřednostňuje modřiny a vlhčí lokality.<sup>67</sup>



**Obrázek 16.** Čirůvka fialová  
(*Lepista nuda*)<sup>63</sup>



**Obrázek 17.** Lištička pomerančová  
(*Hygrophoropsis aurantiaca*)<sup>63</sup>

#### **Pečárka nepříjemná (*Agaricus bernardii*)**

Pečárka nepříjemná (*Agaricus bernardii*) je houba ze třídy rouškatých (*Agaricomycetes*), řádu pečárkotvarých (*Agaricales*), čeledi pečárkovitých. V posledních letech roste poměrně hojně, hlavně na místech silně zasolených. Podél cest, chodníků a silnic. Vyskytuje se již od jara, poměrně hojně jsou nálezy koncem dubna a v květnu. Je rozšířena po celé severní polokouli.<sup>67</sup>



**Obrázek 18.** Pečárka Bernardova (*Agaricus bernardii*)<sup>63</sup>

#### **3.3.4.2 Vřeckovýtrusné houby**

Vřeckovýtrusné houby (*Ascomycota*) jsou druhově nejpočetnějším oddělením hub obsahující cca 60 tisíc druhů. Vybrané izoláty byly získány z rašeliny a kompostované smrkové kůry. Tyto houby patří u nás k běžným saprotrofům, vyskytují se na různých substrátech organického původu a v půdě. Výběr reprezentuje široké taxonomické spektrum: pododdělení *Zygomycotina* (*Zygorhynchus*), *Saccharomycotina* (*Geotrichum*), *Pezizomycotina* (všechny



ostatní). Ze zástupců byly vybrány *Fusarium sp.* z rodu srpovniček, čeledi rážovkovitých (*Nectriaceae*). Dále rod *Paecilomyces*, jehož druhy jsou často charakterizovány přeslenitým uspořádáním fialid na konidioforu. Houby rodu *Truncatella* z čeledi *Amphisphaeriaceae* jsou převážně rostlinnými patogeny. Mykorhizní houba *Trichoderma harzianum* se používá při výsevu travníků. Dalším zástupcem je houba rodu *Geotrichum candidum* se přirozeně vyskytuje na některých potravinách, zejména mléčného původu. Homothalický rod *Zygorhynchus* je charakterizován rozdílně velkými gametami, většina jeho druhů se volně vyskytuje v půdě jako např. *Zyg. moelleri*.

### 3.4 Použité materiály

#### Standardy:

- Plynňý standard Restek 34436-PI (65 komponentů, každý v 1 ppm koncentraci, Restek)
- Kapalný standard EPA 624 Calibration Mix A (2000 µg/ml v methanolu, Sigma-Aldrich), mix 25 těkavých organických uhlovodíků

1.	1,1-dichlorethen	14.	toluen
2.	dichlormethan	15.	trans-1,3-dichlorpropen
3.	trans-1,2-dichlorethen	16.	1,1,2-trichlorethan
4.	1,1-dichlorethan	17.	tetrachlorethen
5.	chloroform	18.	dibromchlormethan
6.	1,1,1-trichlorethan	19.	chlorbenzen
7.	tetrachlormethan	20.	ethylbenzen
8.	benzen	21.	bromoform
9.	1,2-dichlorethan	22.	1,1,2,2-tetrachlorethan
10.	fluorbenzen	23.	1,3-dichlorbenzen
11.	1,2-dichlorpropan	24.	1,4-dichlorbenzen
12.	bromdichlormethan	25.	1,2-dichlorbenzen
13.	cis-1,3-dichlorpropen		

**Tabulka 4.** Organické uhlovodíky obsažené v kapalném standardu EPA 624 Cal. Mix A

- Kapalný standard EPA 624 Calibration Mix B (2000 µg/ml v methanolu, Sigma-Aldrich), mix 5 těkavých organických uhlovodíků

1.	chlormethan
2.	vinylchlorid
3.	methylobromid
4.	chlorethan
5.	trichlorfluormethan

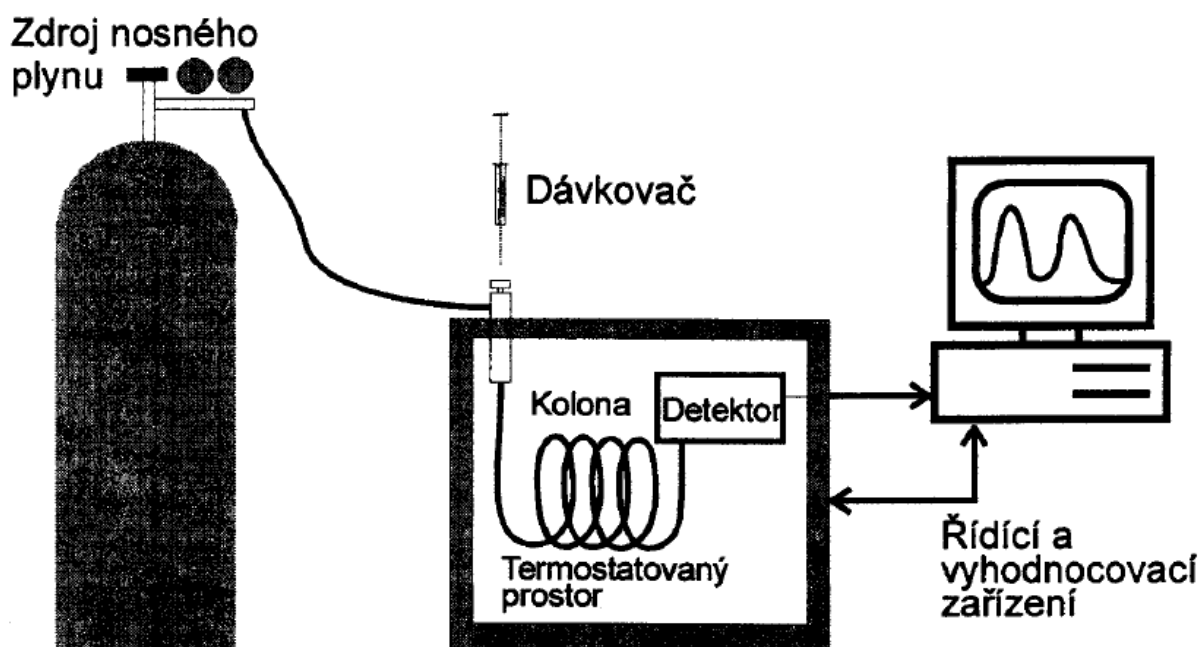
**Tabulka 5.** Organické uhlovodíky obsažené v kapalném standardu EPA 624 Cal. Mix B

**Reagencie:** Chlorid sodný 99,8 % (Sigma-Aldrich, Br<sup>-</sup>: ≤50 mg/kg)

### 3.5 Metody

#### 3.5.1 Plynová chromatografie s hmotností detekcí

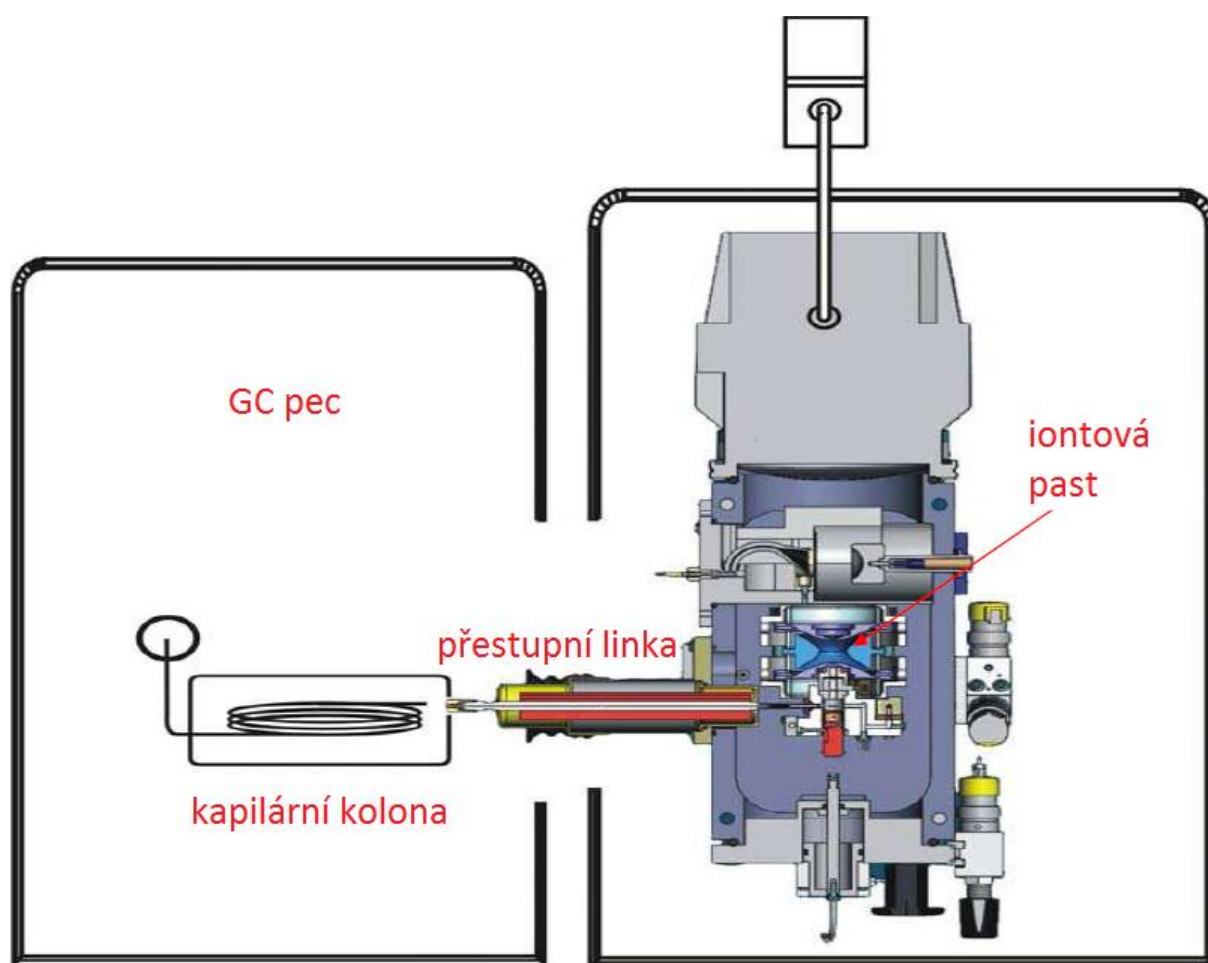
Metoda plynové chromatografie je vhodná pro analýzu těkavých látek, jež je možné převést do plynného stavu. Na obrázku 19. je uvedeno základní schéma plynového chromatografu. Tlaková nádoba slouží jako zásobník plynné mobilní fáze (nosného plynu), který je přes redukční ventil veden do dávkovače, chromatografické kolony a detektoru. Dávkovač, kolona a detektor jsou umístěny v termostatovaném prostoru umožňujícím individuální nastavení teplot jednotlivých částí. Celé zařízení je doplněno regulačními prvky pro zajištění konstantního průtoku nosného plynu kolonou a počítačem pro zpracování signálu z detektoru a řízení průběhu analýzy.<sup>68</sup>



**Obrázek 19.** Schéma plynového chromatografu

Hmotnostní spektrometrie je fyzikálně chemická metoda určování hmotností atomů, molekul a molekulových fragmentů po jejich převedení na ionty, s výbornou vypovídací schopností o struktuře analyzovaných látek, proto je těžištěm analytického využití hmotnostní spektrometrie především stopová analýza organických látek s důrazem na zjištění jejich struktury. Podstatou hmotnostní spektrometrie je studium iontů v plynném stavu ve velmi hlubokém vakuu. Tato metoda v sobě zahrnuje tři hlavní části, generování iontů sledovaných atomů nebo molekul iontovým zdrojem, separaci iontů podle poměru jejich hmotnosti k náboji samotným spektrometrem, měření zastoupení jednotlivých druhů separovaných iontů a

detekce iontů pomocí fotonásobičů. Jako iontový analyzátor hmotnostního spektrometru byla použita iontová past, která se skládá ze vstupní a z výstupní elektrody kruhového průřezu a z prstencové středové elektrody a účinkem elektrického pole uzavřít ionty v ohraničeném prostoru. Krajiní elektrody jsou uzemněny, na středovou elektrodu je vkládáno vysokofrekvenční napětí s proměnnou amplitudou, ionty jsou nuceny pohybovat se uvnitř iontové pasti po uzavřených kruhových drahách. S rostoucí amplitudou napětí se ionty s rostoucím  $m/z$  dostávají na nestabilní trajektorie a opouštějí prostor iontové pasti směrem do detektoru.



**Obrázek 20.** Schéma plynového chromatografu (GC) spojeného s hmotnostní detekcí (MS)

Spojení hmotnostního spektrometru s moderními separačními metodami umožňuje provádět stopovou kvalitativní i kvantitativní analýzu látek v komplexních matricích.<sup>69</sup>

Měření bylo prováděno na plynovém chromatografu s hmotnostní detekcí Varian 240-MS GC/MS Ion Trap Mass Spectrometer (Walnut Creek, USA), kapilární kolonou Restek Rxi-624Sil MS, 30 m, ID 0,32 mm,  $d_f$  1,8  $\mu$ m (Bellefonte, USA).

<b>Teplota injektoru</b>	250°C
<b>Nosný plyn</b>	He
<b>Průtok He</b>	1,0 ml/min
<b>Split</b>	1:10
<b>Teplotní program</b>	40-280°C (20°C/min)
<b>Hmotnostní rozsah</b>	40-280 m/z

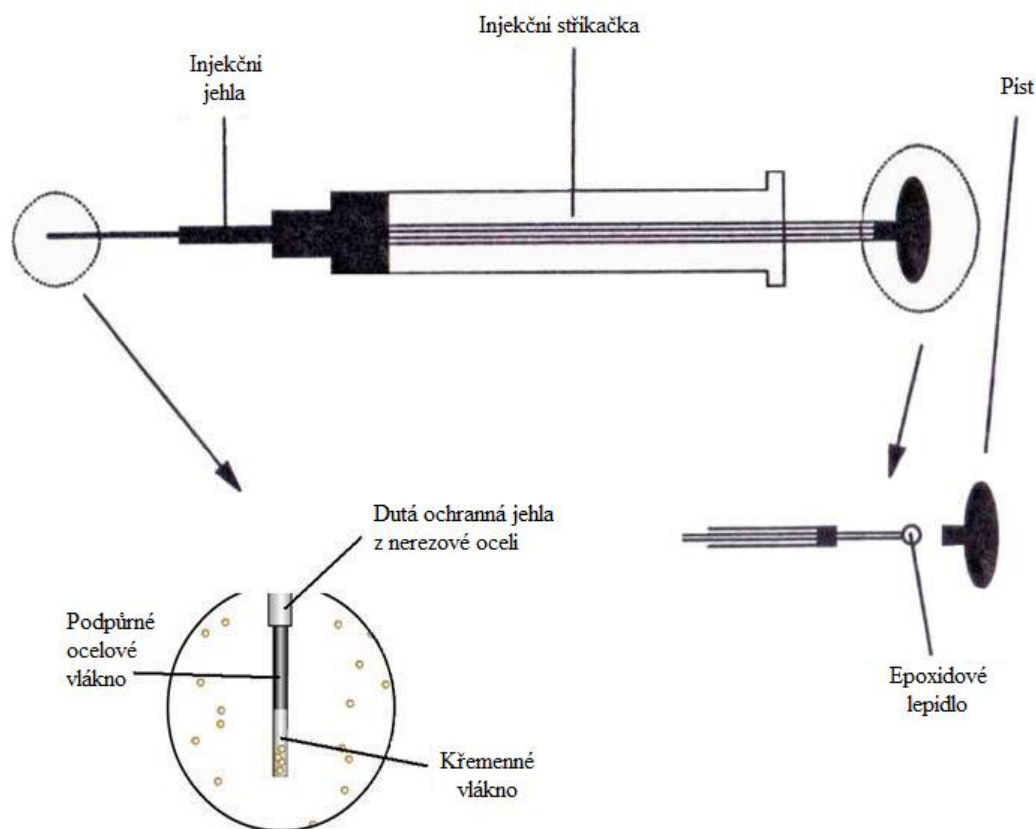
**Tabulka 6.** Základní pracovní podmínky GC-MS

### 3.5.2 Plynová chromatografie spojená s mikroextrakcí na tuhé fázi

Mikroextrakce na tuhé fázi (solid phase microextraction - SPME), je izolační metoda, při níž dochází ke sjednocení procesu vzorkování a extrakce. Principem této metody je sorpce vzorku na stacionární fázi, pokrývající křemenné vlákno, které je zasunuto do duté kovové jehly. Křemenné vlákno o délce 1 cm pokryté polymerem je nejdůležitější součástí zařízení. Dutá jehla slouží k ochraně vlákna před mechanickým poškozením a k propíchnutí septa v zátce vialky, ve které se nachází matrice, bez poškození sorbčního vlákna. Jehla se zasunutým křemenným vláknem se zasune do vzorku, vlákno se z jehly při procesu vzorkování vysune pomocí pístu a po dosažení sorpční rovnováhy se zase zasune zpět do jehly, vloží se do nástřikového prostoru chromatografu, vlákno se opět vysune, a dojde rychlé tepelné desorpce látek. Jednou z nejčastějších aplikací SPME v životním prostředí je analýza těkavých organických sloučenin. Hlavními výhodami této metody je rychlost stanovení, citlivost a také vysoká přesnost metody.<sup>70</sup>

Získ správných a spolehlivých výsledků měření s použitím metody SPME je ovlivněn řadou faktorů, jako jsou polarita, tloušťka stacionární fáze, způsob vzorkování, pH iontová síla roztoku, teplota vzorku a promíchávání. Je třeba, aby byly všechny faktory v optimálním rozmezí. Pro lepší reprodukovatelnost pokusů je možné použít automatický vzorkovač.

Citlivost SPME metody je ovlivněna tloušťkou stacionární fáze vlákna. Volbou nejvhodnějšího vlákna se dosáhne maximální efektivity stanovení. Vlákna se pokrývají různými polymerními materiály, nejčastěji polydimethylsiloxanem (PDMS), často ve směsi s karboxenem nebo divinylbenzenem (DVB). Pro analýzu nízkomolekulárních těkavých sloučenin je doporučeno používat silnější vlákno. Délka sorbce se volí tak, aby bylo dosaženo co možná největší extrakce analytu, tzn., aby došlo k rovnováze mezi vzorkem a vláknem. V tabulce 6. jsou zobrazeny tloušťky a složení polymerních sorbentových vrstev na SPME vláknech a jejich rozlišení pomocí barevných plastických koncovek se závitěm, sloužících k uchycení SPME vlákna do zařízení pro manuální nebo automatizované SPME vzorkování.



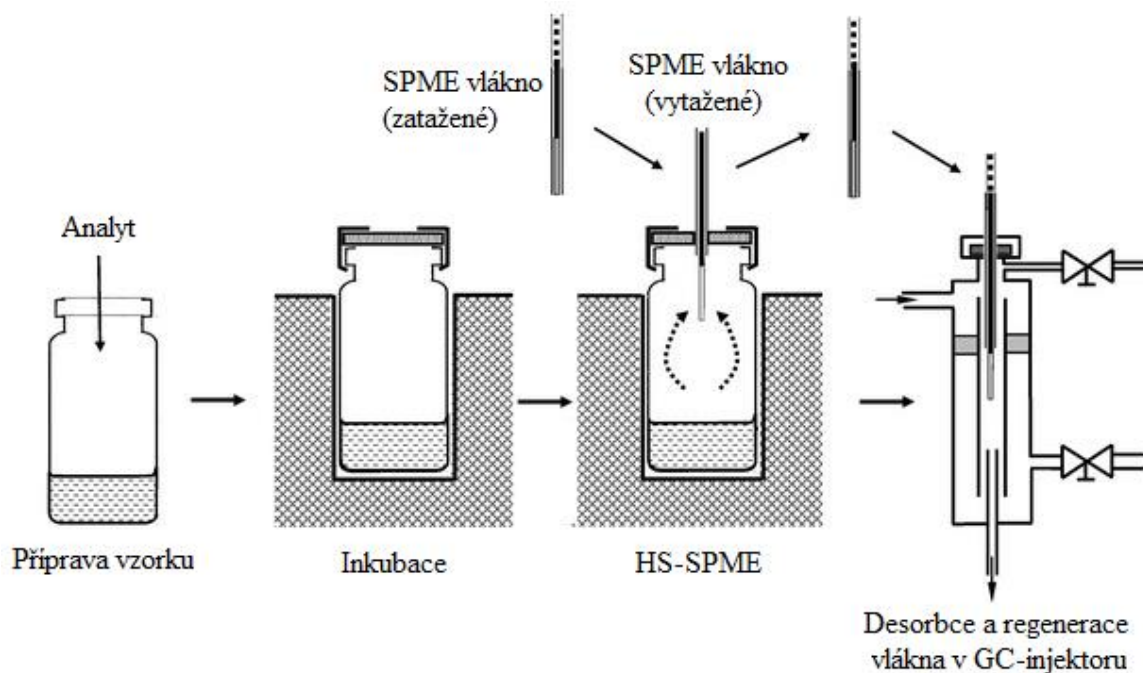
**Obrázek 21.** Schéma SPME zařízení<sup>70</sup>

Druh fáze	Tloušťka fáze / $\mu\text{m}$	Teplota kondicionace / $^{\circ}\text{C}$	Doba kondicionace / h	Barevné označení vlákna
Polyakrylát	85	280	1	bílá
Karboxen/Polydimethylsiloxan (CAR/PDMS)	75	300	1	černá
	85			světle modrá
Polydimethylsiloxan (PDMS)	100	250	0,5	červená
	7	320	1	zelená
Polyethylenglykol (PEG)	60	240	0,5	fialová
Polydimethylsiloxan/Divinylbenzen (PDMS/DVB)	65	250	0,5	modrá
Divinylbenzen/Karboxen/Polydimethylsiloxan	50/30	270	1	šedá

**Tabulka 7.** Označení SPME vláken podle použitého materiálu a tloušťky sorbentu, včetně výrobcem doporučených teplot a dob kondicionace

Při použití metodiky SPME lze užít dva způsoby extrakce. Tím prvním je přímá SPME, označovaná jako DI-SPME (Direct Immersing SPME), při které dochází k přímému kontaktu

vlákna se vzorkem, tento způsob se používá pro látky v kapalném skupenství a u některých tuhých látek. Druhým způsobem vzorkování je HS-SPME (Head-space SPME), při kterém je vlákno vsunuto pouze do prostoru nad vzorkem. Tímto způsobem se extrahují především těkavé látky. V našem případě byla použita metoda HS-SPME, její schéma je znázorněno na obrázku 22.



**Obrázek 22.** Head-space (HS) analýza pomocí SPME vlákna<sup>71</sup>

### 3.5.3 Příprava pokusů pro stanovení

#### 3.5.3.1 Příprava pokusů pro určení vhodného SPME vlákna

Při určování vhodnosti použití SPME vlákna bylo použito bílé vlákno (85  $\mu\text{m}$  polyakrylát), černé vlákno (75  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS), světle modré vlákno (85  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS), červené vlákno (100  $\mu\text{m}$  PDMS), zelené vlákno (7  $\mu\text{m}$  PDMS), fialové vlákno (60  $\mu\text{m}$  PEG), modré vlákno (65  $\mu\text{m}$  PDMS/DVB) a šedé vlákno (50/30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS).



**Obrázek 23.** Barevné rozlišování SPME vláken<sup>72</sup>

Do osmi 20 ml skleněných vialek uzavřených kovovým víčkem se silikonovým septem bylo napipetováno 8 ml destilované vody a 100  $\mu$ l EPA 624 Calibration Mix A (200x zředěný), do dalších osmi 20 ml vialek bylo napipetováno 8 ml destilované vody a 100  $\mu$ l EPA 624 Calibration Mix B (200x zředěný) a jako slepý pokus bylo do osmi 20 ml skleněných vialek napipetováno 8 ml destilované vody. Všechny vialky byly před měřením vypáleny v peci při teplotě 120°C po dobu 60 minut. Měření probíhalo postupně pro jednotlivá vlákna. Každé SPME vlákno bylo vždy nejprve vloženo do zařízení pro manuální SPME vzorkování, každé vlákno bylo kondicionováno při určené teplotě po dobu určenou výrobcem. Po kondicionaci bylo propíchnuto septum v připravené vialce a vlákno se vsunulo do prostoru nad vzorkem, tudíž se jednalo o HS-SPME (Head-space SPME) způsob vzorkování, které je vhodné především pro těkavé látky. Po vysunutí sorbčního vlákna ven z ochranné duté jehly probíhala sorbce analytu po dobu 10 minut za laboratorní teploty. Následně bylo vlákno zasunuto zpět do ochranné duté jehly, vsunuto do injektoru GC-MS a po vysunutí sorbčního vlákna z ochranné duté jehly proběhla v injektoru tepelná desorbce analytů. Metodika viz kapitola 3.5.1.. Takto byly změřeny slepé pokusy, EPA 624 kalibrační Mix A, i EPA 624 kalibrační Mix B pro všechna stanovovaná vlákna.

### **3.5.3.2 Příprava měření kalibračních závislostí pro halogenované uhlovodíky**

Pro změření kalibračních závislostí halogenovaných uhlovodíků byl použit plynný standard RESTEK P/N 34436-PI (65 komponentů, každý v 1 ppm koncentraci). Plynotěsnou injekční jehlou o objemu 5 ml bylo 5x postupně odebráno 0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 a 3,0 ml plynného standardu, který byl následně vstříkovan do 20 ml skleněných vialek, uzavřených kovovým víčkem se silikonovým septem, vypálených v peci při teplotě 120°C po dobu 60 minut. Do těchto vialek bylo následně vsunuto černě označené SPME vlákno (75  $\mu$ m CAR/PDMS, tabulka 7.) a po vysunutí sorbčního vlákna z ochranné jehly byl plynný standard sorbován 10 minut za laboratorní teploty. Poté bylo SPME vlákno zasunuto zpět do duté ochranné jehly, a analyzováno pomocí GC-MS (detaily viz. kapitola 3.5.1.). Takto byly postupně proměřeny všechny koncentrace plynného standardu s pěti opakováními.

$V_{\text{kal.plyn}}$	c
ml	ppm
0,0	0
0,5	0,025
1,0	0,050
1,5	0,075
2,0	0,100
2,5	0,125
3,0	0,150

**Tabulka 8.** Vstřikované objemy kalibračního plynu ( $V_{\text{kal.plyn}}$ ) v ml a koncentrace (c) standardu ve 20 ml vialkách v ppm.

### 3.5.3.3 Příprava přírodních vzorků pro GC-MS stanovení koncentrace emisí organohalogenů s přidavkem roztoku chloridu sodného jako stresového faktoru

Čerstvě odebrané přírodní vzorky mechů, jätrovek, kapradin a přesliček byly, po manuálním očištění kořenů od půdy a jiných nečistot, pinzetou vkládány do 250 ml skleněných vialek uzavřených plastovým víčkem se silikonovým septem, vypálených v peci při teplotě 120°C po dobu 60 minut. Vialky byly rostlinami plněny do poloviny objemu, následně k nim bylo pomocí odměrného válce přidáno 50 ml destilované vody, 50 ml 0,06 M roztoku chloridu sodného a 50 ml 0,12 M roztoku chloridu sodného (tyto koncentrace byly vybrány, neboť byly použity pro podobný pokus efektu solení na rostliny fazolí<sup>73</sup>). Jako slepý pokus byly použity 250 ml vialky bez přidání přírodních vzorků se vzduchem odebraným na místě plnění vialek. Podle množství získaného přírodního materiálu bylo provedeno 3-6 opakování pokusů.

Vzorek	Počet opakování
Bělomech sivý	6
Měřík čeřitý	3
Ploník ztenčený	6
Rašeliník kostrbatý	6
Travník Schreberův	6
Rokytník skvělý	3
Porostnice mnohotvárná	3
Puchýřník křehký	6
Přeslička rolní	5

**Tabulka 9.** Počet opakování pokusů pro jednotlivé přírodní vzorky



Uzavřené vialky s připravenými přírodní vzorky byly ponechány 24 a 48 h v laboratorních podmínkách. Poté byla každá vialka septem vzorkována černě označeným SPME vláknem (75  $\mu$ m CAR/PDMS, tabulka 7.) a analyzována GC-MS (viz kapitola 3.5.1.). Takto byly postupně proměřeny všechny slepé vzorky, vzorky s přidanou destilovanou vodou i vzorky s přidanými roztoky chloridu sodného o různých koncentracích s počtem opakování dle tabulky 8.

#### **3.5.3.4 Příprava vzorků hub pro GC-MS stanovení koncentrace emisí organohalogenů s přidavkem roztoku chloridu sodného jako stresového faktoru**

Vzorky hub byly naočkovány na agar a následně kultivovány v Laboratoři biologie hub Mikrobiologického ústavu AV ČR. Po kultivaci byly vzorky hub v Petriho miskách rozděleny skalpelem na čtyři přibližně stejné díly. Každý jeden díl houby na agaru byl pinzetou vložen do 10 ml skleněné vialky, předem vypálené v peci při teplotě 120°C po dobu 60 minut, poté bylo ke vzorkům hub ve vialkách napipetován 1 ml destilované vody, nebo 1 ml 0,06 M roztoku chloridu sodného. Jako slepý pokus byly použity 10 ml vialky bez přidaných vzorků hub se vzduchem odebraným na místě plnění vialek v Laboratoři biologie hub Mikrobiologického ústavu AV ČR. Vialky byly následně uzavřeny kovovým víčkem se silikonovým septem a ponechány 24 a 48 h v laboratorních podmínkách. Poté byla každá vialka vzorkována černě označeným SPME vláknem (75  $\mu$ m CAR/PDMS, tabulka 7.) a analyzována GC-MS (Kapitola 3.5.1). Takto byly postupně proměřeny všechny slepé vzorky, vzorky s přidanou destilovanou vodou i vzorky s přidaným roztokem chloridu sodného s šesti opakováními pro vzorky stopkovýtrusných hub a kvůli malému množství vzorků, pouze s jedním opakováním pro vzorky vřeckovýtrusných hub.

## 4 Výsledky

### 4.1 Vyhodnocení pokusů pro určení vhodného SPME vlákna

#### 4.1.1 Určení retenčních časů jednotlivých organohalogenů metodou GC-MS a HS-SPME

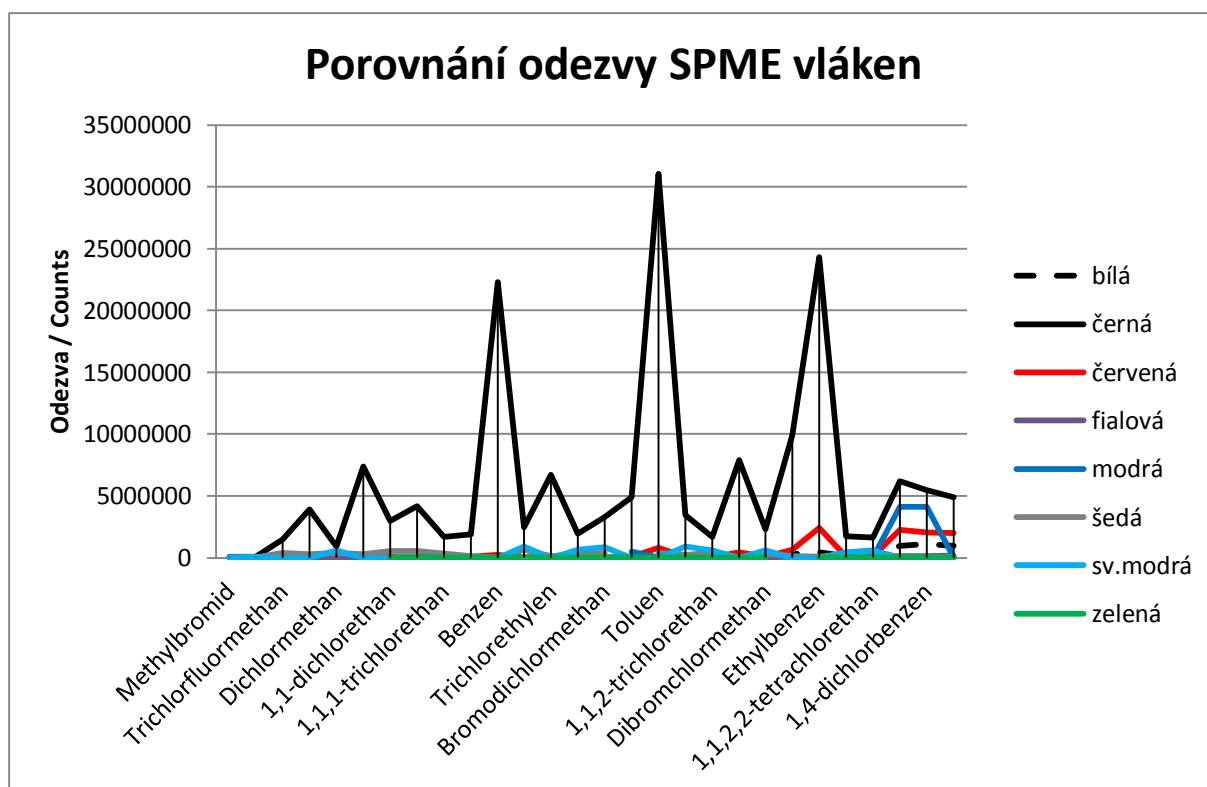
Při GC-MS analýze, za podmínek uvedených v tabulce 6, byly zjištěny retenční časy těkavých organických látek, které byly použity pro identifikaci píků při analýze kapalného standardu EPA 624 Calibration Mix A a Mix B. Tyto retenční časy jsou uvedeny v tabulce 10.

$t_r$ /min	Látka	$t_r$ /min	Látka
1,92	methylbromid	4,21	tromodichlormethan
1,95	dichlorethyn	4,44	(Z)-1,3-dichlorpropen
2,10	trichlorfluormethan	4,67	toluen
2,34	1,1-dichlorethen	4,81	(E)-1,3-dichlorpropen
2,55	dichlormethan	4,91	1,1,2-trichlorethan
2,69	(E)-1,2-dichlorethen	4,99	tetrachlorethylen
2,89	1,1-dichlorethan	5,18	dibromchlormethan
3,30	chloroform	5,59	chlorbenzen
3,43	1,1,1-trichlorethan	5,63	ethylbenzen
3,51	tetrachlormethan	6,15	bromoform
3,60	benzen	6,45	1,1,2,2-tetrachlorethan
3,61	1,2-dichlorethan	7,19	1,3-dichlorbenzen
3,93	trichlorethylen	7,26	1,4-dichlorbenzen
4,10	1,2-dichlorpropan	7,58	1,2-dichlorbenzen

**Tabulka 10.** Retenční časy látek v kapalných standardech EPA 624 Calibration Mix A a Mix B

#### 4.1.2 Určení vhodného SPME vlákna pro stanovení halogenovaných uhlovodíků

Vyhodnocením odezvy různých druhů SPME vláken (viz tabulka 7., příloha 1.) použitých pro stanovení kapalných standardů EPA 624 Calibration Mix A a Mix B bylo za nejvhodnější vlákno pro měření těkavých halogenovaných uhlovodíků určeno černé vlákno pokryté 75  $\mu\text{m}$  CAR/PDMS, které je vhodné především pro stopová množství těkavých analytů stanovovaných plynovou chromatografií. Z Grafu 1. jasně vyplývá, že černé SPME vlákno vykazuje vyšší odezvu pro všechny stanovované látky. Nejlepší odezvu vykazuje pro látky benzen, toluen a ethylbenzen, které jsme ovšem v našich vzorcích nestanovovali.



**Graf 1.** Porovnání odezvy těkavých organických analytů, seřazených dle jejich  $t_r$ , stanovovaných pomocí různých SPME vláken

## 4.2 Analýza koncentrace emisí organohalogenů v přírodních vzorcích

### 4.2.1 Stanovení kalibračních závislostí pro stanovované organohalogeny

Kalibrační závislosti byly stanovovány z plynného standardu RESTEK P/N 34436-PI obsahující 65 komponent, každou v 1 ppm koncentraci (Příloha 2.). Z těchto 65 organických látek bylo ve stanovovaných přírodních vzorcích detekováno 18 organohalogenovaných sloučenin. Pro výpočet koncentrace emisí stanovovaných látek v přírodních vzorcích byly ze závislostí středních hodnot odezvy, vypočtených pro 5 opakování, na koncentracích jednotlivých stanovovaných látek ve vzorku vyneseny kalibrační závislosti pro tyto sloučeniny. Koncentrace emisí stanovovaných látek v přírodních vzorcích byly vypočteny z daných rovnic regrese. Grafy kalibračních závislostí pro jednotlivé stanovované organohalogeny jsou přiloženy v příloze 3-20.

Stanovovaná látká	t <sub>r</sub>	Mr	b.v.	log P <sub>o/w</sub>	LD <sub>50</sub> oral	LOD
	min	g/mol	°C		mg/kg	ppm
methylobromid	1,92	94,94	4	1,19	214	0,0010
dichlorethyn	1,95	94,93	32	1,12	n.d.	0,0010
1,1-dichlorethen	2,34	96,95	32	1,32	200	0,0002
dichlormethan	2,55	84,93	40	1,25	1600	0,0004
(E)-1,2-dichlorethen	2,69	96,95	48	1,25	7536	0,0002
1,1-dichlorethan	2,89	98,96	57	1,80	625	0,0001
chloroform	3,30	119,38	62	1,97	908	0,0001
tetrachlormethan	3,51	153,82	76,5	2,64	7749	0,0001
1,2-dichlorethan	3,61	98,96	83,5	1,48	413	0,0001
trichlorethylen	3,93	131,40	87	2,42	2402	0,0001
bromodichlormethan	4,10	163,80	87	2,00	860	0,0001
(E)-1,3-dichlorpropen	4,81	110,97	108	1,82	640	0,0001
1,1,2-trichlorethan	4,91	133,40	114	2,35	378	0,0003
tetrachlorethylen	4,99	165,83	120	2,60	811	0,0001
dibromchlormethan	5,18	208,28	120	2,16	800	0,0001
1,2-dibromoethan	5,22	187,86	131	1,93	108	0,0003
1,1,2,2-tetrachlorethan	6,45	167,85	146	2,39	200	0,0003
benzylchlorid	7,16	126,58	179	2,30	1500	0,0003

**Tabulka 11.** Retenční časy stanovovaných organohalogenovaných látek z plynného standardu RESTEK P/N 34436-PI, jejich molární hmotnost, teplota bodu varu, logP<sub>o/w</sub>, LD<sub>50</sub> oral (n.d. – data nebyla nalezena) a mez detekce detektoru LOD v ppm

#### 4.2.2 Stanovení koncentrací emisí organohalogenů v přírodních vzorcích

Změřené odezvy organohalogenů emitovaných přírodními vzorky odebíranými od léta 2013 do podzimu 2015, stanovené pomocí HS-SPME GC-MS, byly přepočítány na koncentraci (c) jednotlivých organohalogenů ve vzorcích. Vypočtené hodnoty koncentrací byly přepočteny na emise 1 g suché váhy (DW) vzorků, statisticky zpracovány. Jelikož se počet opakování měření u každého přírodního vzorku pohyboval mezi třemi až šesti opakováními, byla směrodatná odchylka vypočtená z rozpětí, tento postup se používá pro malý počet (n) paralelních stanovení ( $n \leq 20$ ) provedených na jednom vzorku. Dále byla vypočtena relativní směrodatná odchylka (SDR) souboru dat a interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95. Pro koeficient spolehlivosti 0,95 leží výsledek s 95 % pravděpodobností v intervalu ohraničeném intervalem spolehlivosti ( $c \pm L_{1,2}$ ).

Mediány koncentrací byly vyneseny do grafů znázorňujících závislost koncentrace organohalenů na přidání 50 ml destilované vody k přírodním vzorkům, nebo na přidání 50 ml různě koncentrovaných roztoků chloridu sodného po 24 nebo 48 h.

Koncentrace jednotlivých organohalenů byly zároveň přepočteny na látkové množství jednotlivých organohalenů produkovaných 1 g suché váhy (DW) vzorků.

#### **4.2.2.1 Bělomech sivý (*Leucobryum glaucum*)**

U bělomechu sivého byly po 24 h stanoveny emise chloroformu, bromdichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu a dibromchlormethanu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform ( $14 \pm 2$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $16 \pm 2$ ) ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného koncentrace klesla na ( $11 \pm 2$ ) ppb, což vypovídá o negativním působení vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

(E)-1,3-dichlorpropen byl stanoven pouze pro přirozené chlorační procesy a to v koncentraci ( $13 \pm 0$ ) ppb, po přidání roztoků chloridů nebyl stanoven, jeho koncentrace se nacházela pod mezí detekce hmotnostního spektrometru. Pro bromdichlormethan byla koncentrace emisí probíhající díky přirozeným halogenačním procesům stanovena na ( $12 \pm 2$ ) ppb, tento chlorační proces nebyl ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, koncentrace se pohybovala stále okolo ( $12 \pm 6$ ) ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného koncentrace klesla na ( $11 \pm 3$ ) ppb, což vypovídá o negativním působení vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. U dibromchlormethanu byla stanovena pozitivní odezva pouze pro halogenační procesy po přidání 0,06 M roztoku NaCl a to v koncentraci ( $12 \pm 4$ ) ppb, pro přirozené halogenační procesy a pro přidání vyšší koncentrace roztoku chloridu nebyl stanoven, jeho koncentrace se nacházela pod mezí detekce detektoru.

U bělomechu sivého po 48 h byly stanoveny emise chloroformu, bromdichlormethanu a dibromchlormethanu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro bromdichlormethan ( $17 \pm 4$ ) ppb, tento halogenační proces byl však negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $11 \pm 5$ ) ppb, a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného koncentrace dále klesala na ( $10 \pm 4$ ) ppb, což vypovídá o negativním působení přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro chloroform byla koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům stanovena na ( $15 \pm 3$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu

sodného, koncentrace snížila na  $(13 \pm 2)$  ppb, a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného koncentrace dále klesala na  $(12 \pm 1)$  ppb, což vypovídá o negativním působení vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. U dibromchlormethanu byla stanovena pozitivní odezva pouze pro přirozené halogenační procesy a to v koncentraci  $(15 \pm 0)$  ppb, pro přidání roztoků chloridu sodného nebyl stanoven, jeho koncentrace se nacházela pod mezí detekce detektoru.

Bělomech sivý	medián c			suma	$L_{1,2}$			SDR		
	ppb			ppb	ppb			%		
	50 ml dest. vody	50 ml 0,06M NaCl	50 ml 0,12M NaCl		50 ml dest. vody	50 ml 0,06M NaCl	50 ml 0,12M NaCl	50 ml dest. vody	50 ml 0,06M NaCl	50 ml 0,12M NaCl
c / 1g DW 24 h										
Chloroform	14	16	11	40	2	2	2	15	11	21
Bromdichlormethan	12	12	11	35	2	6	3	9	24	13
(E)-1,3-dichlorpropen	13			13	0			0		
Dibromchlormethan		12		12		4			5	
c / 1g DW 48 h										
Chloroform	15	13	12	41	3	2	1	21	15	11
Bromdichlormethan	17	11	10	38	4	5	4	11	20	20
(E)-1,3-dichlorpropen				0						
Dibromchlormethan	15			15	0			0		

**Tabulka 12.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) bělomechu sivého (*Leucobryum glaucum*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka SDR souboru dat v %.

#### 4.2.2.2 Ploník ztenčený (*Polytrichium formosum*)

U ploníku ztenčeného byly po 24 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu, bromdichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu, dibromchlormethanu, 1,1,2,2-tetrachlorethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro 1,1,2,2-tetrachlorethan ( $14 \pm 6$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na  $(11 \pm 4)$  ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na  $(12 \pm 4)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Dichlormethan byl stanoven pouze po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného a to v koncentraci  $(12 \pm 9)$  ppb pro přirozené chlorační procesy a pro přidání vyšší koncentrace roztoku chloridu nebyl stanoven, jeho koncentrace se tudíž nacházela pod mezí detekce detektoru. Pro chloroform byla

stanovena koncentrace pro přirozené chlorační procesy ( $12 \pm 6$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $13 \pm 8$ ) ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace snížila na ( $9 \pm 6$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Koncentrace emisí přirozených chloračních procesů (E)-1,3-dichlorpropenu byla stanovena na ( $12 \pm 9$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $10 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snižovala na ( $9 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. U benzylchloridu byla stanovena koncentrace emisí přirozených chloračních procesů na ( $13 \pm 0$ ) ppb, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se koncentrace ( $13 \pm 4$ ) ppb nezvyšovala, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace snížila na ( $12 \pm 5$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšší koncentrace přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro přirozené halogenační procesy bromdichlormethanu byla stanovena koncentrace ( $13 \pm 6$ ) ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $11 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snížila na ( $10 \pm 14$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro dibromchlormethan byla stanovena pouze koncentrace emisí přirozených halogenačních procesů ( $12 \pm 0$ ) ppb, koncentrace emisí po přidání roztoků chloridu sodného o různých koncentracích nebyla stanovena, neboť se pohybovala pod mezí detekce detektoru.

U ploníku ztenčeného byly po 48 h stanoveny emise 1,1-dichlorethenu, chloroformu, tetrachlormethanu, trichloroethylenu, bromdichlormethanu, (E)-1,3-dichlorprop-1-enu, dibromchlormethanu, 1,2-dibromethanu, 1,1,2,2-tetrachlorethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform ( $15 \pm 4$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $13 \pm 7$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snížila na ( $11 \pm 7$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. 1,1-dichlorethen byl stanoven pouze po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného a to v koncentraci ( $1 \pm 0$ ) ppb, pro přirozené chlorační procesy a pro přidání vyšší koncentrace roztoku chloridu nebyl stanoven, jeho koncentrace se tudíž nacházela pod mezí detekce detektoru. Tetrachlormethan byl stanoven po přidání 0,06 M roztoku chloridu

sodného ( $6 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $15 \pm 31$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy, přirozené chlorační procesy nebyly stanoveny, neboť leženy pod mezí detekce. Trichlorethylen byl stanoven pouze po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného, což poukazuje na pozitivní účinek vyšších koncentrací chloridů na chlorační procesy, pro přirozené chlorační procesy a přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného nebyly koncentrace stanoveny, neboť ležely pod mezí detekce. Koncentrace emisí přirozených chloračních procesů (E)-1,3-dichlorpropenu byla stanovena na ( $9 \pm 5$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $4 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále zvýšila na ( $9 \pm 9$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro emise přirozených chloračních procesů 1,1,2,2-tetrachlorethan byla stanovena koncentrace ( $11 \pm 7$ ) ppb, tento chlorační proces nebyl ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, koncentrace zůstala ( $11 \pm 3$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $13 \pm 22$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. U benzylchloridu byla stanovena koncentrace emisí pouze po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného ( $13 \pm 6$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšší koncentrace přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy, pro přirozené chlorační procesy a přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byly koncentrace pod mezí detekce detektoru. Pro přirozené chlorační procesy bromdichlormethanu byla stanovena koncentrace ( $11 \pm 5$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace nacházela pod mezí detekce detektoru, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $12 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dibromchlormethan byla stanovena pouze koncentrace emisí přirozených halogenačních procesů ( $9 \pm 0$ ) ppb, koncentrace emisí po přidání roztoků chloridu sodného o různých koncentracích nebyla stanovena, neboť se pohybovala pod mezí detekce detektoru. Koncentrace 1,2-dibrommethanu byla stanovena pouze po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného ( $9 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na halogenační procesy, koncentrace pro přirozené halogenační procesy a pro 0,06 M roztok chloridu sodného se pohybovala pod mezí detekce.



Ploník ztenčený	medián c			suma	L <sub>1,2</sub>			SDR		
	ppb			ppb	ppb			%		
	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl		50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl
c / 1g DW 24 h										
1,1-dichlorethen				0						
Dichlormethan		12		12		9			36	
Chloroform	12	13	9	34	6	8	6	54	61	70
Tetrachlormethan				0						
Trichloroethylen				0						
Bromdichlormethan	13	11	10	34	6	0	14	21	0	20
(E)-1,3-dichlorpropen	12	10	9	30	9	0	0	11	0	0
Dibromchlormethan	12			12	0			0		
1,2-dibromethan				0						
1,1,2,2-tetrachlorethan	14	11	12	37	6	4	4	21	15	16
Benzylchlorid	13	13	12	39	0	4	5	0	13	21
c / 1g DW 48 h										
1,1-dichlorethen		1		1		0			0	
Dichlormethan				0						
Chloroform	15	13	11	39	4	7	7	29	51	62
Tetrachlormethan		6	15	21		0	31		0	28
Trichloroethylen			11	11			6			8
Bromdichlormethan	11		12	23	5		0	21		0
(E)-1,3-dichlorpropen	9	4	9	22	5	0	9	25	0	13
Dibromchlormethan	9			9	0			0		
1,2-dibromethan			11	11			14			17
1,1,2,2-tetrachlorethan	11	11	13	35	7	3	22	30	13	24
Benzylchlorid			13	13			6			20

**Tabulka 13.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) ploníku ztenčeného (*Polytrichium formosum*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka SDR souboru dat v %.

#### 4.2.2.3 Travník Schreberův (*Pleurozium schreberi*)

U travníku Schreberova byly po 24 h stanoveny emise chloroformu, tetrachlormethanu, bromdichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu a 1,2-dibromethan. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform ( $13 \pm 6$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $16 \pm 8$ ) ppb, avšak po přidání

0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace snížila na  $(11 \pm 5)$  ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Tetrachlormethan byl stanoven pouze pro přirozené chlorační procesy  $(13 \pm 19)$  ppb, po přidání chloridů se koncentrace pohybovaly pod mezí detekce detektoru. Pro (E)-1,3-dichlorpropen byla stanovena koncentrace přirozených chloračních procesů  $(12 \pm 38)$  ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na  $(11 \pm 7)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se dále snížila na  $(10 \pm 5)$  ppb, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro bromdichlormethan byla stanovena koncentrace přirozených halogenačních procesů  $(6 \pm 0)$  ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace opět  $(6 \pm 3)$  ppb. Emise 1,2-dibromethanu byly stanoveny pouze po přidání roztoků chloridu sodného, pro 0,06 M chlorid sodný  $(9 \pm 0)$  ppb a 0,12 M chlorid sodný  $(11 \pm 5)$  ppb, což vypovídá o pozitivním vlivu přidaných chloridů na halogenační procesy, koncentrace emisí přirozených halogenačních procesů se nacházela pod mezí detekce detektoru.

U travníku Schreberova byly po 48 h stanoveny emise 1,1-dichlorethenu, chloroformu, tetrachlormethanu, trichlorethylenu, bromdichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu 1,1,2-trichlorethan a 1,2-dibromethan. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan  $(14 \pm 2)$  ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na  $(13 \pm 4)$  ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na  $(15 \pm 0)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Emise chloroformu pro přirozené chlorační procesy byla  $(13 \pm 4)$  ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(15 \pm 7)$  ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace snížila na  $(11 \pm 4)$  ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. 1,1-dichlorethen byl stanoven pouze po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného  $(2 \pm 0)$  ppb, pro přirozené chlorační procesy a vyšší koncentrace přidaných chloridů se emise pohybovaly pod mezí detekce detektoru. Emise trichlorethylenu pro přirozené chlorační procesy se pohybovala pod mezí detekce detektoru, chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo

ke zvýšení koncentrace na  $(10 \pm 0)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále zvýšila na  $(12 \pm 0)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Koncentrace přirozených chloračních procesů (E)-1,3-dichlorpropenu byla  $(10 \pm 3)$  ppb, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se koncentrace snížila na  $(9 \pm 4)$  ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na  $(10 \pm 4)$  ppb. Pro 1,1,2-trichlorethan byly stanoveny emise pouze po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného  $(13 \pm 0)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na chlorační procesy, koncentrace přirozených chloračních procesů a koncentrace po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se pohybovaly pod mezí detekce detektoru.

Travník Schreberův	medián c			suma	$L_{1,2}$			SDR		
	ppb			ppb	ppb			%		
	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl		50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl
<b>c / 1g DW 24 h</b>										
1,1-dichlorethen				0						
Chloroform	13	16	11	40	6	8	5	46	51	42
Tetrachlormethan	13			13	19			21		
Trichlorethylen				0						
Bromdichlormethan	6		6	13	0		3	1		7
(E)-1,3-dichlorpropen	12	11	10	33	38	7	5	42	30	22
1,1,2-trichlorethan				0						
1,2-dibromethan		9	11	20		0	5		0	25
<b>c / 1g DW 48 h</b>										
1,1-dichlorethen		2		2		0			0	
Chloroform	13	15	11	40	4	7	4	30	46	36
Tetrachlormethan	14	13	15	42	2	4	0	15	14	0
Trichlorethylen		10	12	22		0	0		0	0
Bromdichlormethan			7	7			0			0
(E)-1,3-dichlorpropen	10	9	10	29	3	4	4	26	34	16
1,1,2-trichlorethan			13	13			0			0
1,2-dibromethan	9	9	9	27	3	4	4	14	21	23

**Tabulka 14.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) travníku Schreberova (*Pleurozium schreberi*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka SDR souboru dat v %.

Pro bromdichlormethan byly stanoveny emise pouze po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného ( $7 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na halogenační procesy, koncentrace přirozených halogenačních procesů a koncentrace po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se pohybovaly pod mezí detekce detektoru. Koncentrace 1,2-dibromethanu pro přirozené halogenační procesy ( $9 \pm 3$ ) ppb, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného ( $9 \pm 4$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného ( $9 \pm 4$ ) ppb se příliš neměnily.

#### 4.2.2.4 Rašeliník kostrbatý (*Sphagnum squarrosum*)

U rašeliníku kostrbatého byly po 24 h stanoveny emise chloroformu, tetrachlormethanu, bromodichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu, 1,1,2-trichlorethanu, tetrachlorethylenu, dibromchlormethan, 1,2-dibromethanu, 1,1,2,2-tetrachlorethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform ( $20 \pm 3$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $18 \pm 3$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snížila na ( $16 \pm 6$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro tetrachlormethan byly koncentrace přirozených chloračních procesů ( $20 \pm 15$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $18 \pm 3$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snížila na ( $16 \pm 11$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Koncentrace emisí pro přirozené chlorační procesy (E)-1,3-dichlorpropenu byly ( $14 \pm 4$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $12 \pm 2$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snížila na ( $11 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro 1,1,2-trichlorethan byla stanovena koncentrace pouze po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného ( $18 \pm 0$ ) ppb, pro přirozené chlorační procesy a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byly koncentrace emisí pod mezí detekce detektoru. Pro tetrachlorethylen byly koncentrace přirozených chloračních procesů ( $13 \pm 0$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $12 \pm 5$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snížila na ( $11 \pm 3$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační

procesy. Pro 1,1,2,2-tetrachlorethan byly koncentrace přirozených chloračních procesů ( $15 \pm 10$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $13 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snížila na ( $11 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro benzylchlorid se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $14 \pm 8$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného ( $14 \pm 4$ ) ppb. Pro bromdichlormethan byly koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $13 \pm 3$ ) ppb, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $14 \pm 3$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace snížila na ( $13 \pm 6$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro dibromchlormethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $13 \pm 13$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se snížila na ( $10 \pm 7$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro 1,2-dibromethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $14 \pm 4$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se snížila na ( $11 \pm 2$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy.

U rašeliníku kostrbatého byly po 48 h stanoveny emise (E)-1,2-dichlorethenu, 1,1-dichlorethanu, chloroformu, tetrachlormethanu, bromodichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu, dibromchlormethan, 1,2-dibromethanu, 1,1,2,2-tetrachlorethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform ( $14 \pm 1$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $15 \pm 2$ ) ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $14 \pm 2$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro tetrachlormethan byly koncentrace přirozených chloračních procesů pod mezí detekce detektoru, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného došlo ke zvýšení koncentrace na ( $13 \pm 2$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného koncentrace byla ( $13 \pm 0$ ) ppb. Koncentrace emisí pro přirozené

chlorační procesy (E)-1,3-dichlorpropenu byla ( $10 \pm 0$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $9 \pm 1$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byla ( $9 \pm 1$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

Rašeliník kostrbatý	medián c			suma	$L_{1,2}$			SDR		
	ppb			ppb	ppb			%		
	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl		50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl
<b>c / 1g DW 24 h</b>										
(E)-1,2-dichlorethen				0						
1,1-dichlorethan				0						
Chloroform	20	18	16	54	3	3	6	16	18	35
Tetrachlormethan	20	18	16	54	15	3	11	11	2	32
Bromodichlormethan	13	14	13	40	3	3	6	11	9	22
(E)-1,3-dichlorpropen	14	12	11	37	4	2	0	4	8	0
1,1,2-trichlorethan		18		18		0			0	
Tetrachlorethylen	13	12	11	36	0	5	3	0	6	3
Dibromchlormethan		13	10	23		13	7		15	9
1,2-dibromethan		14	11	25		4	2		16	12
1,1,2,2-tetrachlorethan	15	13	11	38	10	0	0	9	0	0
Benzylchlorid		14	14	29		8	4		27	25
<b>c / 1g DW 48 h</b>										
(E)-1,2-dichlorethen	6	9	10	25	0	2	3	0	3	13
1,1-dichlorethan		2	2	5		0	0		0	0
Chloroform	14	15	14	43	1	2	2	5	12	14
Tetrachlormethan		13	13	26		2	0		2	0
Bromodichlormethan	10	13	14	37	1	5	1	3	19	4
(E)-1,3-dichlorpropen	10	9	9	28	0	1	1	2	6	5
1,1,2-trichlorethan				0						
Tetrachlorethylen				0						
Dibromchlormethan		10	10	20		2	1		3	5
1,2-dibromethan		11	11	22		1	1		2	4
1,1,2,2-tetrachlorethan	11	11	10	32	0	1	5	0	2	7
Benzylchlorid		11		11		0			0	

**Tabulka 15.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) rašeliníku kostrbatého (*Sphagnum squarrosum*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka SDR souboru dat v %.

Pro 1,1,2,2-tetrachlorethan byly koncentrace přirozených chloračních procesů ( $11 \pm 0$ ) ppb, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného ( $11 \pm 1$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále na ( $10 \pm 5$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro benzylchlorid se koncentrace přirozených chloračních procesů a koncentrace po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného pohybovala pod mezí detekce detektoru, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace ( $11 \pm 0$ ) ppb. Pro bromdichlormethan byly koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $10 \pm 1$ ) ppb, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $13 \pm 5$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $14 \pm 1$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro dibromchlormethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $10 \pm 2$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byla ( $10 \pm 1$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro 1,2-dibromethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $11 \pm 1$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byla ( $11 \pm 1$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy.

#### **4.2.2.5 Rokytník skvělý (*Hylocomium splendens*)**

U rokytníku skvělého byly po 24 h stanoveny emise chloroformu, tetrachlormethanu, trichlorethylenu, bromdichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu, 1,1,2-trichlorethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan ( $22 \pm 0$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $16 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snížila na ( $14 \pm 16$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byly koncentrace přirozených chloračních procesů ( $15 \pm 7$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $17 \pm 1$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $16 \pm 3$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro trichlorethylen byly stanoveny emise pouze po

přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného ( $7 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidanych chloridů na chlorační procesy, koncentrace přirozených chloračních procesů a koncentrace po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se pohybovaly pod mezí detekce detektoru. Pro (E)-1,3-dichlorpropen byly koncentrace přirozených chloračních procesů ( $11 \pm 17$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $9 \pm 1$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $8 \pm 6$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro 1,1,2-trichlorethan byly koncentrace přirozených chloračních procesů ( $16 \pm 0$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $14 \pm 3$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro benzylchlorid se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovaly pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $15 \pm 46$ ) ppb, ale po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $11 \pm 2$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro bromdichlormethan byly koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $10 \pm 5$ ) ppb, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $12 \pm 1$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace opět ( $12 \pm 2$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové halogenační procesy.

U rokytníku skvělého byly po 48 h stanoveny emise chloroformu, tetrachlormethanu, trichlorethylenu, bromdichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu, dibromchlormethanu, 1,2-dibromethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform ( $21 \pm 5$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $17 \pm 8$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace ( $17 \pm 6$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro tetrachlormethan byly koncentrace přirozených chloračních procesů ( $5 \pm 0$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $15 \pm 38$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace snížila na ( $10 \pm 1$ ) ppb, což vypovídá o negativním



účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro trichlorethylen byly stanoveny emise pouze po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného ( $9 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na chlorační procesy, koncentrace přirozených chloračních procesů a koncentrace po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se pohybovaly pod mezí detekce detektoru. Pro (E)-1,3-dichlorpropen byly koncentrace stanoveny pouze po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného ( $8 \pm 0$ ) ppb, pro přirozené chlorační procesy a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

Rokytník skvělý	medián c			suma	$L_{1,2}$			SDR		
	ppb			ppb	ppb			%		
	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl		50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl
<b>c / 1g DW 24 h</b>										
Chloroform	15	17	16	48	7	1	3	21	3	9
Tetrachlormethan	22	16	14	52	0	0	16	0	0	16
Trichlorethylen			7	7			0			0
Bromodichlormethan	10	12	12	34	5	1	2	20	4	9
(E)-1,3-dichlorpropen	11	9	8	28	17	1	6	21	1	10
1,1,2-trichlorethan	16	14		30	0	3		0	3	
Dibromchlormethan				0						
1,2-dibromethan				0						
Benzylchlorid		15	11	26		46	2		42	7
<b>c / 1g DW 48 h</b>										
Chloroform	21	17	17	55	5	8	6	10	22	15
Tetrachlormethan	5	15	10	30	0	38	1	0	36	1
Trichlorethylen			9	9			0			0
Bromodichlormethan	12	12	12	36	7	5	4	8	18	17
(E)-1,3-dichlorpropen		8		8		0			0	
1,1,2-trichlorethan				0						
Dibromchlormethan		9	9	19		4	4		19	17
1,2-dibromethan		10	10	20		9	2		12	3
Benzylchlorid		11		11		0			0	

**Tabulka 16.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) rokytníku skvělého (*Hylocomium splendens*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka SDR souboru dat v %.

Pro benzylchlorid byly koncentrace stanoveny pouze po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného ( $11 \pm 0$ ) ppb, pro přirozené chlorační procesy a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru. Pro bromdichlormethan byly koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $12 \pm 7$ ) ppb, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace ( $12 \pm 5$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byla opět ( $12 \pm 4$ ) ppb. Pro dibromchlormethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů pohybovaly pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $9 \pm 4$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byla opět ( $9 \pm 4$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidávaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro 1,2-dibromethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů pohybovaly pod mezí detekce detektoru, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $10 \pm 9$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného byla ( $10 \pm 2$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidávaných chloridů na enzymové halogenační procesy.

#### **4.2.2.6 Měřik čeřitý (*Plagiomnium undulatum*)**

U měřiku čeřitého byly po 24 h stanoveny emise chloroformu a (E)-1,3-dichlorpropenu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro (E)-1,3-dichlorpropen ( $6 \pm 0$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $7 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $5 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byly koncentrace přirozených chloračních procesů ( $5 \pm 4$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $7 \pm 3$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $4 \pm 7$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

U měřiku čeřitého byly po 48 h stanoveny emise chloroformu a (E)-1,3-dichlorpropenu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro (E)-1,3-dichlorpropen ( $6 \pm 0$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $4 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se

koncentrace zvýšila na  $(7 \pm 4)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byly koncentrace přirozených chloračních procesů  $(4 \pm 4)$  ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(6 \pm 0)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na  $(3 \pm 3)$  ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

Měřik čeritý	medián c			suma	L <sub>1,2</sub>			SDR		
	ppb			ppb	ppb			%		
	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl		50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl
<b>c / 1g DW 24 h</b>										
Chloroform	5	7	4	16	4	3	7	36	22	68
(E)-1,3-dichlorpropen	6	7	5	17	0	0	0	0	0	0
<b>c / 1g DW 48 h</b>										
Chloroform	4	6	3	14	4	0	3	39	0	14
(E)-1,3-dichlorpropen	6	4	7	17	0	0	4	0	0	9

**Tabulka 17.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) měřiku čeritého (*Plagiomnium undulatum*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka SDR souboru dat v %.

#### 4.2.2.7 Porostnice mnohotvárná (*Marchantia polymorpha*)

U porostnice mnohotvárné byly po 24 h stanoveny emise chloroformu, bromdichlormethanu a (E)-1,3-dichlorpropenu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro (E)-1,3-dichlorpropen  $(10 \pm 57)$  ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(11 \pm 0)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byly koncentrace přirozených chloračních procesů  $(7 \pm 5)$  ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(13 \pm 21)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na  $(14 \pm 10)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro bromdichlormethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů

pohybovaly pod mezí detekce detektoru, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(12 \pm 19)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na  $(13 \pm 10)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidávaných chloridů na enzymové halogenační procesy. U porostnice mnohotvárné byly po 48 h stanoveny emise chloroformu, bromdichlormethanu a (E)-1,3-dichlorpropenu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform  $(11 \pm 17)$  ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na  $(10 \pm 18)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na  $(8 \pm 19)$  ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro (E)-1,3-dichlorpropen se koncentrace přirozených chloračních procesů a koncentrace po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného, pohybovaly pod mezí detekce detektoru, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na  $(16 \pm 0)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro bromdichlormethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů pohybovaly pod mezí detekce detektoru, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(18 \pm 0)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na  $(15 \pm 0)$  ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové halogenační procesy.

Porostnice mnohotvárná	medián c			suma	L <sub>1,2</sub>			SDR		
	ppb			ppb	ppb			%		
	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl		50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl
<b>c / 1g DW 24 h</b>										
Chloroform	7	13	14	34	5	21	10	30	74	32
Bromdichlormethan		12	13	24		19	10		74	35
(E)-1,3-dichlorpropen	10	11		21	57	0		77	0	
<b>c / 1g DW 48 h</b>										
Chloroform	11	10	8	29	17	18	19	71	84	111
Bromdichlormethan		18	15	33		0	0		0	0
(E)-1,3-dichlorpropen			16	16			0			0

**Tabulka 18.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) porostnice mnohotvárné (*Marchantia polymorpha*) po 24 a 48 h, jejich

interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka  $SDR$  souboru dat v %.

#### 4.2.2.8 Puchýrník křehký (*Cystopteris fragilis*)

U puchýrníku křehkého byly po 24 h stanoveny emise 1,1-dichlorethenu, dichlormethanu, chloroformu, tetrachlormethanu, trichlorethylenu, bromodichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu, dibromchlormethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform ( $151 \pm 70$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $80 \pm 49$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $108 \pm 52$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro 1,1-dichlorethen se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovaly pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $11 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $23 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $28 \pm 159$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $68 \pm 63$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace snížila na ( $35 \pm 60$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro tetrachlormethan se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovaly pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $50 \pm 0$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $78 \pm 483$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro trichlorethylen se koncentrace přirozených chloračních procesů a koncentrace po přidání 0,06 M chloridu sodného pohybovaly pod mezí detekce detektoru, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $37 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro (E)-1,3-dichlorpropen byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $117 \pm 40$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $58 \pm 517$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $111 \pm 77$ ) ppb, což

vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro benzylchlorid se koncentrace přirozených chloračních procesů a koncentrace po přidání 0,06 M chloridu sodného pohybovaly pod mezí detekce detektoru, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na  $(85 \pm 0)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro bromdichlormethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů  $(41 \pm 49)$  ppb, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(50 \pm 20)$  ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na  $(45 \pm 63)$  ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro dibromchlormethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů  $(98 \pm 48)$  ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na  $(42 \pm 18)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace dále snižovala na  $(40 \pm 55)$  ppb, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy.

U puchýřníku křehkého byly po 48 h stanoveny emise 1,1-dichlorethenu, dichlormethanu, chloroformu, tetrachlormethanu, bromodichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu, dibromchlormethanu a 1,2-dibrommethanu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform  $(95 \pm 34)$  ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na  $(87 \pm 86)$  ppb, ale po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na  $(107 \pm 23)$  ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro 1,1-dichlorethen se koncentrace přirozených chloračních procesů a koncentrace po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného pohybovaly pod mezí detekce detektoru, koncentrace po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla  $(19 \pm 0)$  ppb. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů  $(70 \pm 0)$  ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na  $(56 \pm 169)$  ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na  $(45 \pm 40)$  ppb, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro tetrachlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů  $(45 \pm 0)$  ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na  $(34 \pm 0)$  ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na  $(83 \pm 71)$  ppb, což vypovídá o

pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro (E)-1,3-dichlorpropen byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $91 \pm 0$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $60 \pm 148$ ) ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $73 \pm 77$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

Puchýřník křehký	medián c			suma	L <sub>1,2</sub>			SDR		
	ppb			ppb	ppb			%		
	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl		50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl
<b>c / 1g DW 24 h</b>										
1,1-dichlorethen		11	23	33		0	0		0	0
Dichlormethan	28	68	35	131	159	63	60	78	78	145
Chloroform	151	80	108	340	70	49	52	46	61	48
Tetrachlormethan		50	78	128		0	483		0	86
Trichlorethylen			37	37			0			0
Bromdichlormethan	41	50	45	136	49	20	63	53	19	64
(E)-1,3-dichlorpropen	117	58	111	286	40	517	77	5	60	31
Dibromchlormethan	98	42	40	179	48	18	55	49	20	64
1,2-dibromethan				0						
Benzylchlorid			85	85			0			0
<b>c / 1g DW 48 h</b>										
1,1-dichlorethen		19		19		0			0	
Dichlormethan	70	56	45	171	0	169	40	0	159	40
Chloroform	95	87	107	289	34	86	23	36	97	21
Tetrachlormethan	45	34	83	162	0	0	71	0	0	39
Trichlorethylen				0						
Bromdichlormethan	88	43	74	205	66	33	37	40	35	50
(E)-1,3-dichlorpropen	91	60	73	223	0	148	66	0	112	13
Dibromchlormethan	94	42	66	203	66	73	42	32	24	29
1,2-dibromethan	73			73	0			0		
Benzylchlorid				0						

**Tabulka 19.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) puchýřníku křehkého (*Cystopteris fragilis*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka  $SDR$  souboru dat v %.

Pro bromdichlormethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $88 \pm 66$ ) ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $43 \pm 33$ ) ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $74 \pm 37$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro dibromchlormethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $94 \pm 66$ ) ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $42 \pm 73$ ) ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $66 \pm 42$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro 1,2-dibromethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $73 \pm 0$ ) ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M a 0,12 M roztoků chloridu sodného, neboť se jejich koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

#### **4.2.2.9 Přeslička rolní (*Equisetum arvense*)**

U přesličky rolní byly po 24 h stanoveny emise chloroformu, tetrachlormethanu, bromdichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu, dibromochlormethanu a 1,2-dibromethanu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan ( $113 \pm 0$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se jeho koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru, ale po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $159 \pm 0$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $102 \pm 91$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $151 \pm 73$ ) ppb, avšak po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $129 \pm 33$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku vyšších koncentrací přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro (E)-1,3-dichlorpropen byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $49 \pm 82$ ) ppb, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $121 \pm 140$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět zvýšila na ( $133 \pm 27$ ) ppb, což vypovídá o pozitivním účinku přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro bromdichlormethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $60 \pm 54$ ) ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn



přidáním 0,06 M a 0,12 M roztoků chloridu sodného, neboť se jejich koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru. Pro dibromchlormethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $49 \pm 38$ ) ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M a 0,12 M roztoků chloridu sodného, neboť se jejich koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru. Pro 1,2-dibromethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů a koncentrace po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného pohybovaly pod mezí detekce detektoru, tyto halogenační procesy byly pozitivně ovlivněny přidáním 0,12 M roztoku chloridu sodného, jelikož došlo ke zvýšení ( $154 \pm 0$ ) ppb.

U přesličky rolní byly po 48 h stanoveny emise chloroformu, tetrachlormethanu, bromdichlormethanu, (E)-1,3-dichlorpropenu a dibromochlormethanu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform ( $122 \pm 27$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se jeho koncentrace snížila na ( $94 \pm 17$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $63 \pm 6$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro tetrachlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $87 \pm 109$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace snížila na ( $64 \pm 14$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $58 \pm 103$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro (E)-1,3-dichlorpropen byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $77 \pm 40$ ) ppb, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace snížila na ( $55 \pm 18$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $49 \pm 7$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku přidávaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro bromdichlormethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $98 \pm 22$ ) ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace snížila na ( $52 \pm 2$ ) ppb a po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného se koncentrace opět snížila na ( $47 \pm 19$ ) ppb, což vypovídá o negativním účinku přidávaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro dibromchlormethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $79 \pm 19$ ) ppb, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M a 0,12 M roztoků chloridu sodného, neboť se jejich koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

Přeslička rolní	medián c			suma	L <sub>1,2</sub>			SDR		
	ppb			ppb	ppb			%		
	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl		50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl	50 ml dest. vody	50 ml 0,06 M NaCl	50 ml 0,12 M NaCl
c / 1g DW 24 h										
Chloroform	102	151	129	382	91	73	33	75	40	22
Tetrachlormethan	113		159	272	0		0	0		0
Bromdichlormethan	60			60	54			12		
(E)-1,3-dichlorpropen	49	121	133	302	82	140	27	77	53	11
Dibromochlormethan	49			49	38			11		
1,2-dibromethan			154	154			0			0
c / 1g DW 48 h										
Chloroform	122	94	63	279	27	17	6	19	15	8
Tetrachlormethan	87	64	58	209	109	14	103	17	10	25
Bromdichlormethan	98	52	47	197	22	2	4	19	1	8
(E)-1,3-dichlorpropen	77	55	49	181	40	18	7	23	18	8
Dibromochlormethan	79			79	19			20		
1,2-dibromethan				0						

**Tabulka 20.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) přesličky rolní (*Equisetum arvense*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka SDR souboru dat v %.

#### 4.2.3 Stanovení koncentrací emisí organohalogenů ve vzorcích hub

Změřené odezvy organohalogenů emitovaných vzorky hub připravovaných v Laboratoři biologie hub Mikrobiologického ústavu AV ČR od léta 2013 do podzimu 2015, stanovené pomocí HS-SPME GC-MS, byly přepočítány na koncentraci (c) jednotlivých organohalogenů ve vzorcích. Vypočtené hodnoty koncentrací byly přepočteny na emise 1 g suché váhy (DW) vzorků a pro výsledky vzorků hub, byly statisticky zpracovány. Jelikož se počet opakování měření u každého přírodního vzorku pohyboval mezi jedním u vřeckovýtrusných, až šesti opakováními u stopkovýtrusných hub, byla směrodatná odchylka, pro stanovené výsledky vzorků hub, vypočtená z rozpětí, tento postup se používá pro malý počet (n) paralelních stanovení ( $n \leq 20$ ) provedených na jednom vzorku. Dále byla pro výsledky vzorků hub, vypočtena relativní směrodatná odchylka (SDR) souboru dat a interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95. Pro koeficient spolehlivosti 0,95 leží výsledek s 95 % pravděpodobností v intervalu ohraničeném intervalem spolehlivosti ( $c \pm L_{1,2}$ ). Mediány koncentrací byly vyneseny do grafů znázorňujících závislost koncentrace

organohalogenů na přidání 1 ml destilované vody k přírodním vzorkům, nebo 1 ml 0,06 M roztoku chloridu sodného po 24 nebo 48 h. Koncentrace jednotlivých organohalogenů byly zároveň přepočteny na látkové množství jednotlivých organohalogenů produkovaných 1 g suché váhy (DW) vzorků.

#### **4.2.3.1 Čirůvka fialová (*Lepista nuda*)**

U čirůvky fialové byly po 24 h stanoveny emise dichlormethanu, 1,1-dichlorethanu, chloroformu, tetrachlormethanu, 1,2-dibromethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan ( $32 \pm 36$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $10 \pm 3$ ) ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $8 \pm 9$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $5 \pm 3$ ) ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro 1,1-dichlorethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $9 \pm 0$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se hodnota koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $7 \pm 10$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $4 \pm 3$ ) ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro benzylchlorid byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $2 \pm 1$ ) ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace ( $2 \pm 0$ ) ppm. Pro 1,2-dibromethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $10 \pm 0$ ) ppm, tento halogenační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $5 \pm 7$ ) ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy.

U čirůvky fialové byly po 48 h stanoveny emise dichlormethanu, 1,1-dichlorethanu, chloroformu, tetrachlormethanu, 1,2-dibromethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan ( $10 \pm 7$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $6 \pm 26$ ) ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $5 \pm 3$ ) ppm a pro

0,06 M roztok chloridu sodného také ( $5 \pm 3$ ) ppm. Pro 1,1-dichlorethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $2 \pm 0$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se hodnota koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $4 \pm 3$ ) ppm a pro 0,06 M roztok chloridu sodného ( $4 \pm 2$ ) ppm. Pro benzylchlorid byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $2 \pm 0$ ) ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace ( $2 \pm 1$ ) ppm. Pro 1,2-dibromethan byla koncentrace přirozených halogenačních procesů ( $2 \pm 0$ ) ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace ( $2 \pm 2$ ) ppm.

Čirůvka fialová	medián c		suma	$L_{1,2}$		SDR	
	ppm		ppm	ppm		%	
	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl		1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl
<b>c / 1 g DW 24 h</b>							
Dichlormethan	8	5	12	9	3	118	68
1,1-dichlorethan	9		9	0		1	
Chloroform	7	4	11	10	3	139	63
Tetrachlormethan	32	10	42	36	3	51	14
1,2-dibromethan	10	5	16	0	7	0	56
Benzylchlorid	2	2	4	1	0	19	0
<b>c / 1 g DW 48 h</b>							
Dichlormethan	5	5	9	3	3	71	59
1,1-dichlorethan	2		2	0		0	
Chloroform	4	4	8	3	2	74	44
Tetrachlormethan	10	6	16	7	26	33	59
1,2-dibromethan	2	2	4	0	2	0	65
Benzylchlorid	2	2	4	0	1	0	53

**Tabulka 21.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) čirůvky fialové (*Lepista nuda*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka SDR souboru dat v %.

#### 4.2.3.2 Lištička pomerančová (*Hygrophoropsis aurantiaca*)

U lištičky pomerančové byly po 24 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu a tetrachlormethanu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform ( $3 \pm 1$ ) ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace také ( $3 \pm 1$ ) ppm, takže přidané chloridy

příliš neovlivnily enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $3 \pm 1$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na ( $2 \pm 2$ ) ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro tetrachlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $3 \pm 5$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se hodnota koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

U lištičky pomerančové byly po 48 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu a tetrachlormethanu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro dichlormethan ( $3 \pm 1$ ) ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného se koncentrace zvýšila na ( $4 \pm 1$ ) ppm, takže přidané chloridy pozitivně ovlivnily enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $2 \pm 0$ ) ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $3 \pm 0$ ) ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro tetrachlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $3 \pm 0$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se hodnota koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

Lištička pomerančová	medián c		suma	L <sub>1,2</sub>		SDR	
	ppm		ppm	ppm		%	
	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl		1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl
c / 1 g DW 24 h							
Dichlormethan	3	2	5	1	2	43	39
Chloroform	3	3	6	1	1	39	39
Tetrachlormethan	3		3	5		89	
c / 1 g DW 48 h							
Dichlormethan	3	4	6	1	1	45	17
Chloroform	2	3	5	0	0	15	15
Tetrachlormethan	3		3	0		0	

**Tabulka 22.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) lištičky pomerančové (*Hygrophoropsis aurantiaca*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka  $SDR$  souboru dat v %.

#### 4.2.3.3 Pečárka nepříjemná (*Agaricus bernardii*)

U pečárky nepříjemné byly po 24 h stanoveny emise methylbromidu, dichlormethanu, chloroformu, tetrachlormethanu, 1,2-dichlorethanu, bromdichlormethanu a (E)-1,3-dichlorpropenu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným halogenačním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro methylbromid ( $20 \pm 0$ ) ppm, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $23 \pm 33$ ) ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro dichlorethyn byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $14 \pm 0$ ) ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $26 \pm 0$ ) ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $15 \pm 14$ ) ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na ( $19 \pm 13$ ) ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro tetrachlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů ( $3 \pm 3$ ) ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se hodnota koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru. Pro 1,2-dichlorethan se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož došlo ke zvýšení koncentrace na ( $33 \pm 13$ ) ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro (E)-1,3-dichlorpropen se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož došlo ke zvýšení koncentrace na ( $24 \pm 0$ ) ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro bromdichlormethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož došlo ke zvýšení koncentrace na ( $18 \pm 0$ ) ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy.

U pečárky nepříjemné byly po 48 h stanoveny emise methylbromidu, dichlormethanu, chloroformu, 1,2-dichlorethanu, trichlorethylenu, bromdichlormethanu a tetrachlorethylenu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlorethylen ( $20 \pm 0$ ) ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení

koncentrace na  $(58 \pm 0)$  ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlorethyn byla koncentrace přirozených chloračních procesů  $(11 \pm 0)$  ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(50 \pm 293)$  ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů  $(15 \pm 10)$  ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(28 \pm 32)$  ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy.

Pečárka nepříjemná	medián c		suma	L <sub>1,2</sub>		SDR	
	ppm		ppm	ppm		%	
	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl		1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl
<b>c / 1 g DW 24 h</b>							
Methylbromid	20	23	44	0	33	0	63
Dichloroethyn	14	26	40	0	0	0	0
Chloroform	15	19	33	14	13	96	71
Tetrachlormethan	3		3	3		42	
1,2-dichlorethan		33	33		13		19
Trichlorethylen			0				
Bromdichlormethan		18	18		0		0
(E)-1,3-dichlorpropen		24	24		0		0
Tetrachlorethylen			0				
<b>c / 1 g DW 48 h</b>							
Methylbromid	15	84	100	0	0	0	0
Dichloroethyn	11	50	61	0	293	0	81
Chloroform	15	28	43	10	32	64	113
Tetrachlormethan			0				
1,2-dichlorethan		38	38		101		37
Trichlorethylen		76	76		0		0
Bromdichlormethan		27	27		0		0
(E)-1,3-dichlorpropen			0				
Tetrachlorethylen	20	58	78	0	0	0	0

**Tabulka 23.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) pečárky nepříjemné (*Agaricus bernardii*) po 24 a 48 h, jejich interval spolehlivosti  $L_{1,2}$  na hladině významnosti 0,05, s koeficientem spolehlivosti 0,95 a relativní směrodatná odchylka  $SDR$  souboru dat v %.

Pro 1,2-dichlorethan se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož došlo ke zvýšení koncentrace na  $(38 \pm 101)$  ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro trichlorethylen se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož došlo ke zvýšení koncentrace na  $(76 \pm 0)$  ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro methylbromid byla koncentrace přirozených halogenačních procesů  $(15 \pm 0)$  ppm, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na  $(84 \pm 0)$  ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy. Pro bromdichlormethan se koncentrace přirozených halogenačních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento halogenační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož došlo ke zvýšení koncentrace na  $(27 \pm 0)$  ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové halogenační procesy.

#### **4.2.3.4 *Fusarium sp.***

Pro *Fusarium sp.* byly po 24 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro benzylchlorid 7 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů 6 ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 8 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů 4 ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 7 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

Pro *Fusarium sp.* byly po 24 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro benzylchlorid 7 ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace také 7 ppm. Pro dichlormethan byla koncentrace



přirozených chloračních procesů 6 ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace také 6 ppm. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů 6 ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 7 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

Fusarium sp.	c		suma
	ppm		ppb
	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl	
<b>c / 1 g DW 24 h</b>			
Dichlormethan	6	8	14
Chloroform	4	7	11
Benzylchlorid	7		7
<b>c / 1 g DW 48 h</b>			
Dichlormethan	6	6	12
Chloroform	6	7	13
Benzylchlorid	7	7	14

**Tabulka 24.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) pro *Fusarium sp.* po 24 a 48 h

#### 4.2.3.5 *Paecilomyces sp.*

Pro *Paecilomyces sp.* byly po 24 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro benzylchlorid 9 ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 10 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 10 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů 9 ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 10 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

Pro *Paecilomyces sp.* byly po 48 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním

procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro benzylchlorid 22 ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 50 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 8 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů 11 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 9 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy.

<b>Paecilomyces sp.</b>	<b>c</b>		<b>suma</b>
	<b>ppb</b>		<b>ppb</b>
	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl	
<b>c / 1 g DW 24 h</b>			
Dichlormethan		10	10
Chloroform	9	10	19
Benzylchlorid	9	10	19
<b>c / 1 g DW 48 h</b>			
Dichlormethan		8	8
Chloroform	11	9	20
Benzylchlorid	22	50	72

**Tabulka 25.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) pro *Paecilomyces sp.* po 24 a 48 h

#### 4.2.3.6 *Truncatella angustata*

Pro *Truncatella angustata* byly po 24 h stanoveny emise dichlormethanu, (E)-1,2-dichlorethenu, chloroformu, tetrachlormethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan 4 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 3 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů 2 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru. Pro (E)-1,2-dichlorethen se koncentrace přirozených

chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 1 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů 2 ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace opět 2 ppm. Pro tetrachlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů 4 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 3 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro benzylchlorid byla koncentrace přirozených chloračních procesů 2 ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace opět 2 ppm. Pro *Truncatella angustata* byly po 48 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu, tetrachlormethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan 4 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

<b>Truncatella angustata</b>	<b>c</b>		<b>suma</b>
	<b>ppb</b>		<b>ppb</b>
	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl	
<b>c / 1 g DW 24 h</b>			
Dichlormethan	2		2
(E)-1,2-dichlorethen		1	1
Chloroform	2	2	4
Tetrachlormethan	4	3	7
Benzylchlorid	2	2	4
<b>c / 1 g DW 48 h</b>			
Dichlormethan		2	2
(E)-1,2-dichlorethen			0
Chloroform	2	2	4
Tetrachlormethan	4		4
Benzylchlorid	2	2	4

**Tabulka 26.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) pro *Truncatella angustata* po 24 a 48 h

Pro dichlormethan se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 2 ppm, což vypovídá o pozitivním

účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů 2 ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace opět 2 ppm. Pro benzylchlorid byla koncentrace přirozených chloračních procesů 2 ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace opět 2 ppm.

#### 4.2.3.7 *Trichoderma harzianum*

Pro *Trichoderma harz.* byly po 24 h stanoveny emise chloroformu a (E)-1,3-dichlorpropenu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform 7 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 6 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro (E)-1,3-dichlorpropen byla koncentrace přirozených chloračních procesů 4 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

Pro *Trichoderma harz.* byly po 48 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu a (E)-1,3-dichlorpropenu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform 10 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 5 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů 9 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

Trichoderma harz.	c		suma
	ppb		ppb
	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl	
c / 1 g DW 24 h			
Dichlormethan			0
Chloroform	7	6	13
(E)-1,3-dichlorpropen	4		4
c / 1 g DW 48 h			
Dichlormethan	9		9
Chloroform	10	5	15
(E)-1,3-dichlorpropen	7		7

**Tabulka 27.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) pro *Trichoderma harzianum* Po 24 a 48 h

Pro (E)-1,3-dichlorpropen byla koncentrace přirozených chloračních procesů 7 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

#### 4.2.3.8 *Geotrichum candidum*

Pro *Geotrichum candidum* byly po 24 h stanoveny emise chloroformu a tetrachlormethanu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan 16 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 12 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů 7 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 5 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

Pro *Geotrichum candidum* byly po 48 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu a tetrachlormethanu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan 23 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 12 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy.

<b>Geotrichum candidum</b>	<b>c</b>		<b>suma</b>
	<b>ppb</b>		<b>ppb</b>
	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl	
<b>c / 1 g DW 24 h</b>			
Dichlormethan			0
Chloroform	7	5	11
Tetrachlormethan	16	12	28
<b>c / 1 g DW 48 h</b>			
Dichlormethan		4	4
Chloroform	9	5	14
Tetrachlormethan	23	12	36

**Tabulka 28.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) pro *Geotrichum candidum* po 24 a 48 h

Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů 9 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 5 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan se emise přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 4 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy.

#### **4.2.3.9 *Zygorhynchus moelleri***

Pro *Zyg. moelleri* byly po 24 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu, tetrachlormethanu a trichlorethylenu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro tetrachlormethan 18 ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace také 18 ppm. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů 7 ppm, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 8 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro chloroform byla koncentrace přirozených chloračních procesů 9 ppm, po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného byla koncentrace opět 9 ppm, takže chlorační proces nebyl ovlivněn přidáním chloridů ke vzorku. Pro trichlorethylen se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 8 ppm, což vypovídá o pozitivním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy.

Pro *Zyg. moelleri* byly po 48 h stanoveny emise dichlormethanu, chloroformu, tetrachlormethanu a benzylchloridu. Nejvyšší koncentrace emisí probíhající díky přirozeným chloračním procesům (přidání destilované vody) byla stanovena pro chloroform 11 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke snížení koncentrace na 8 ppm, což vypovídá o negativním účinku přidanych chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro dichlormethan byla koncentrace přirozených chloračních procesů 7 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru. Pro tetrachlormethan se koncentrace přirozených chloračních procesů pohybovala pod mezí detekce detektoru, tento chlorační proces byl pozitivně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, kdy došlo ke zvýšení koncentrace na 16 ppm, což vypovídá o pozitivním

účinku přidaných chloridů na enzymové chlorační procesy. Pro benzylchlorid byla koncentrace přirozených chloračních procesů 10 ppm, tento chlorační proces byl negativně ovlivněn přidáním 0,06 M roztoku chloridu sodného, jelikož se koncentrace pohybovala pod mezí detekce detektoru.

<b>Zygorhynchus moelleri</b>	<b>c</b>		<b>suma</b>
	<b>ppb</b>		<b>ppb</b>
	1 ml dest. vody	1 ml 0,06 M NaCl	
<b>c / 1 g DW 24 h</b>			
Dichlormethan	7	8	15
Chloroform	9	9	18
Tetrachlormethan	18	18	36
Trichlorethylen		8	8
Benzylchlorid			0
<b>c / 1 g DW 48 h</b>			
Dichlormethan	10		10
Chloroform	11	8	18
Tetrachlormethan		16	16
Trichlorethylen			0
Benzylchlorid	10		10

**Tabulka 29.** Jednotlivé stanovené organohalogeny a koncentrace jejich emisí na 1 g suché váhy (DW) pro *Zygorhynchus moelleri* po 24 a 48 h

### 4.3 Chemická diverzita a efekt přidavku chloridu sodného

V následujících tabulkách je znázorněno zastoupení jednotlivých halogenovaných uhlovodíků v přírodních vzorcích rostlin (tabulka 30.), stopkovýtrusných hub (tabulka 32.) a vřeckovýtrusných hub (tabulka 34.). Jejich množství je znázorněno pomocí znaménka +, konkrétní koncentrace v jednotkách ppm a ppb se nacházejí v oddílech 4.2.2 a 4.2.3.. V tabulkách 31., 33. a 35. jsou znázorněny důsledky přidání roztoku chloridu sodného k analyzovaným vzorkům po 24 a 48 h. Šipka nahoru (↑) znázorňuje vzrůst koncentrace emisí organohalogenů oproti přirozeným chloračním procesům, šipka dolů (↓) její snížení a pomlčka (–) je zobrazena za předpokladu, že koncentrace emisí zůstala beze změny. Pro rostliny znázorňuje první symbol přidavek 0,06 M roztoku chloridu sodného, zatímco druhý symbol 0,12 M roztoku chloridu sodného po 24 nebo 48 h. U vzorků hub je znázorněn vždy jen jeden symbol, neboť byl zkoumán pouze přidavek 0,06 M roztoku chloridu sodného.

Rostliny	BS	PZ	TS	RK	RS	MČ	PM	PK	PR
1,1-dichlorethen		+	+					++	
Dichlormethan		+						+++	
(E)-1,2-dichlorethen				+					
1,1-dichlorethan				+					
Chloroform	++	++	++	++	++	+	++	+++	+++
Tetrachlormethan		+	++	++	++			+++	+++
Trichlorethylen		+	+		+			+	
Bromodichlormethan	++	++	+	++	++		++	+++	++
(E)-1,3-dichlorpropen	+	++	++	++	++	+	++	+++	+++
1,1,2-trichlorethan			+	+	+				
Tetrachlorethylen				+					
Dibromchlormethan	+	+		++	+			+++	++
1,2-dibromethan		+	++	++	+			+	++
1,1,2,2-tetrachlorethan		++		++					
Benzylchlorid		++		++	++			+	

**Tabulka 30.** Zastoupení jednotlivých organohalogenů emitovaných přírodními vzorky rostlin; + znázorňuje množství odezvy v porovnání k ostatním přírodním vzorkům (BS – bělomech sivý, PZ – ploník ztenčený, TS – travník Schreberův, RK – rašeliník kostrbatý, RS – rokytník skvělý, MČ – měřík čeřitý, PM – porostnice mnohotvárná, PK – puchýřník křehký, PR – přeslička rolní)

Rostliny	BS		PZ		TS		RK		RS		MČ		PM		PK		PR	
t / h	24	48	24	48	24	48	24	48	24	48	24	48	24	48	24	48	24	48
1,1-dichlorethen				↑↓		↑↓									↑↑	↑↓		
Dichlormethan			↑↓												↑↓	↓↓		
(E)-1,2-dichlorethen								↑↑										
1,1-dichlorethan								↑-										
Chloroform	↑↓	↓↓	↑↓	↓↓	↑↓	↑↓	↓↓	↑↓	↑↓	↓-	↑↓	↑↓	↑↑	↓↓	↑↓	↓↑	↑↓	↓↓
Tetrachlormethan				↑↑	↓-	↓↑	↓↓	↑-	↓↓	↑↓					↑↑	↓↑	↓↑	↓↓
Trichlorethylen				-↑		↑↑			-↑	-↑					-↑			
Bromdichlormethan	↓↓	↓↓	↑↓	↓↑	↑↓	-↑	↑↓	↑↑	↑-	-			↑↑	↑↓	↓↑	↓↑	↓-	↓↓
(E)-1,3-dichlorpropen	↓-		↓↓	↓↑	↓↓	↓↑	↓↓	↓-	↓↓	↑↓	↑↓	↓↑	↑↓	-↑	↓↑	↓↑	↑↑	↓↓
1,1,2-trichlorethan						-↑	↑↓		↓↓									
Tetrachlorethylen							↓↓											
Dibromchlormethan	↑↓	↓-	↓-	↓-			↑↓	↑-		↑-					↓↓	↓↑	↓-	↓-
1,2-dibromethan				-↑	↑↑	--	↑↓	↑-		↑-						↓-	-↑	
1,1,2,2-tetrachlorethan			↑↓	-↑			↓↓	↓↓										
Benzylchlorid			↓↓	-↑			↑-	↑↓	↑↓	↑↓					-↑			

**Tabulka 31.** Odpověď chloračních procesů rostlin na přidavek 0,06 M a 0,12 M roztoku chloridu sodného k přírodnímu vzorku po 24 a 48 h; ↑ – zvýšení koncentrace, ↓ – snížení koncentrace, – – bez změny koncentrace (BS – bělomech sivý, PZ – ploník ztenčený, TS – travník Schreberův, RK – rašeliník kostrbatý, RS – rokytník skvělý, MČ – měřík čeřitý, PM – porostnice mnohotvárná, PK – puchýřník křehký, PR – přeslička rolní)



Stopkovýtrusné houby	ČF	LP	PN
Methylbromid			+++
Dichlorethyn			+++
Dichlormethan	++	+	
1,1-dichlorethan	+		
Chloroform	++	+	+++
Tetrachlormethan	++	+	+
1,2-dichlorethan			+++
Trichlorethylen			++
Bromodichlormethan			++
(E)-1,3-dichlorpropen			++
Tetrachlorethylen			++
1,2-dibromoethan	++		
Benzylchlorid	+		

**Tabulka 32.** Zastoupení jednotlivých organohalogenů emitovaných vzorky stopkovýtrusných hub; + znázorňuje množství odezvy v porovnání k ostatním přírodním vzorkům (ČF – čířvka fialová, LP – lištička pomerančová, PN – Pečárka nepříjemná)

Stopkovýtrusné houby	ČF		LP		PN	
	24	48	24	48	24	48
Methylbromid					↑	↑
Dichlorethyn					↑	↑
Dichlormethan	↓	–	↓	↑		
1,1-dichlorethan	↓	↓				
Chloroform	↓	–	–	↑	↑	↑
Tetrachlormethan	↓	↓	↓	↓	↓	
1,2-dichlorethan					↑	↑
Trichlorethylen						↑
Bromdichlormethan					↑	↑
(E)-1,3-dichlorpropen					↑	
Tetrachlorethylen						↑
1,2-dibromoethan	↓	–	↑			
Benzylchlorid	–	–				

**Tabulka 33.** Odpověď chloračních procesů stopkovýtrusných hub na přidavek 0,06 M roztoku chloridu sodného k přírodnímu vzorku po 24 a 48 h; ↑ – zvýšení koncentrace, ↓ – snížení koncentrace, – – bez změny koncentrace (ČF – čířvka fialová, LP – lištička pomerančová, PN – Pečárka nepříjemná)

Vřeckovýtrusné houby	F	P	T	TH	G	ZM
Dichlormethan	+	+	+	+	+	++
(E)-1,2-dichlorethen			+			
Chloroform	+	++	+	++	++	++
Tetrachlormethan			+		++	+++
Trichlorethylen						+
(E)-1,3-dichlorpropen				+		
Benzylchlorid	+	+++	+			+

**Tabulka 34.** Zastoupení jednotlivých organohalogenů emitovaných vzorky vřeckovýtrusných hub; + znázorňuje množství odezvy v porovnání k ostatním přírodním vzorkům (F – *Fusarium sp.*, P – *Paecilomyces sp.*, T – *Truncatella angustata*, TH – *Trichoderma harz.*, G – *Geotrichum candidum*, ZM – *Zyg. moelleri*)

Vřeckovýtrusné houby	F		P		T		TH		G		ZM	
t / h	24	48	24	48	24	48	24	48	24	48	24	48
Dichlormethan	↑	–	↑	↑	↓	↑		↓		↑	↑	↓
(E)-1,2-dichlorethen					↑							
Chloroform	↑	↑	↑	↓	–	–	↓	↓	↓	↓	–	↓
Tetrachlormethan					↓	↓			↓	↓	–	↑
Trichlorethylen											↑	
(E)-1,3-dichlorpropen							↑	↓				
Benzylchlorid	↓	–	↑	↑	–	–						↓

**Tabulka 35.** Odpověď chloračních procesů vřeckovýtrusných hub na přidavek 0,06 M roztoku chloridu sodného k přírodnímu vzorku po 24 a 48 h; ↑ – zvýšení koncentrace, ↓ – snížení koncentrace, – – bez změny koncentrace (F – *Fusarium sp.*, P – *Paecilomyces sp.*, T – *Truncatella angustata*, TH – *Trichoderma harz.*, G – *Geotrichum candidum*, ZM – *Zyg. moelleri*)

#### 4.4 Korelační analýza

Pro stanovení vzájemného vztahu mezi jednotlivými stanoveními probíhajícími za přidání destilované vody (DV), 0,06 M nebo 0,12 M roztoku chloridu sodného po 24 nebo 48 h byla provedena vzájemná korelace koncentrací chlorovaných a bromovaných uhlovodíků. Pro hodnoty menší než 1 se ve vzájemném vztahu porovnávaných hodnot koncentrace zvyšuje, u hodnot větších než 1 se koncentrace snižuje a v případě, že se vzájemný vztah rovná jedné, pak nedošlo ke změně koncentrace v průběhu času, nebo po změně koncentrace přidávaných chloridů. Výsledky korelačních analýz pro jednotlivé vzorky rostlin a hub jsou uvedeny v kapitole 8 jako příloha 81.-98..

## 5 Diskuze

Literární rešerše indikuje, že živé organismy přeměňují svými metabolickými procesy anorganický chlor na organicky vázaný chlor. Pro ověření těchto poznatků, byla stanovována přímá produkce těkavých chlorovaných uhlovodíků (VOC) přírodními vzorky rostlin a hub. Dále pak byly provedeny modelové pokusy pro stanovení efektu zvýšené koncentrace přidaných chloridů ke vzorkům ověření jejich vlivu na přirozené chlorační procesy.

Není tomu dlouho co byly lesy identifikovány jako přirozené zdroje emisí chloroformu do životního prostředí<sup>28</sup>. Roční emise chloroformu do atmosféry z lesních ekosystémů jsou srovnatelné s ostatními přirozenými zdroji. V současnosti jsou lesy známy pouze jako drobný zdroj z celkového biogenního toku chloroformu, s příspěvkem menším než 1 % z ročního atmosférického vstupu. Přesto jsou však známa pouze data ze severských mírných lesů, rozsáhlé deštné pralesy by mohly odhalit doposud neznámý zdroj chloroformu. Mechorosty mohou v lesním podrostu zabírat téměř až 100 % z celkové plochy lesa. Vezmeme-li v úvahu veškerou plochu všech lesních ekosystémů na Zemi, která k roku 2011 zabírala více než 41 milionů km<sup>2</sup>, tedy plných 31 % souše. Jde o plochu čtyřikrát větší než je rozloha Evropy. Rozšíření lesa na Zemi je však nerovnoměrné, přes polovinu veškeré lesní plochy najdeme pouze v pěti zemích, konkrétně v Ruské federaci, Brazílii, Kanadě, USA a v Číně. Lze předpokládat, že veškeré zdroje emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků pocházejících z lesních ekosystémů nebyly stále ještě prozkoumány, proto nelze vyvrátit, že by lesy jako zdroj biogenního toku chloroformu mohly přispívat více než 1 % z ročního atmosférického vstupu, jak udává literatura.

Přítomnost těkavých halogenovaných uhlovodíků byla detekována pomocí GC-MS, pro prekoncentraci analytů z rostlinného materiálu a naočkovaných hub na agaru byla zvolena metoda mikroextrakce tuhou fází. Pro měření těkavých halogenovaných uhlovodíků pomocí mikroextrakce tuhou fází by bylo vhodnější metodu propojit s časově méně náročnou automatizací, která však kvůli objemu použitých vialek nemohla být použita. Pro prekoncentraci analytů pomocí mikroextrakce tuhou fází bylo použito černé SPME vlákno pokryté sorbční vrstvou 75 μm karboxen/polydimethylsiloxanu, to se oproti ostatním použitým SPME vláknům osvědčilo jako nejcitlivější pro stanovované těkavé halogenované uhlovodíky. Ostatní stanovovaná SPME vlákna již nebyly při měření dále používány, v budoucnu však mohou být použity při jiné metodice.

Stanovení provedená pomocí HS-SPME ve spojení s GC-MS potvrdila poznatky z literatury, tedy že rostlinný materiál produkuje přirozeně těkavé halogenované uhlovodíky, a to jak

chlorované tak i bromované. Všechny rostlinné přírodní vzorky produkovaly těkavé halogenované uhlovodíky v řádech ppb, tedy 1 µg/l na 1 g suché váhy (DW) použitého rostlinného materiálu. Stejně jako u vzorků rostlinného materiálu byla potvrzena přirozená produkce těkavých halogenovaných, chlorovaných a bromovaných, uhlovodíků i u vzorků kultur hub naočkovaných na agaru. Vzorky houbových kultur však na rozdíl od rostlinných vzorků produkovaly emise organohalogenů v tisíckrát vyšších koncentracích, tedy v řádech ppm, tedy 1 mg/l na 1 g DW použitých vzorků hub. U vzorků kultur vřeckovýtrusných hub naočkovaných na agaru byla taktéž prokázána produkce těkavých halogenovaných uhlovodíků přirozenými halogenačními procesy a stejně jako u vzorků stopkovýtrusných hub se jejich koncentrace pohybovala v řádech ppm, tedy 1 mg/l na 1 g DW použitých kultur vřeckovýtrusných hub. Rostliny a houby mají vzhledem ke svým specifickým fyziologickým vlastnostem velmi odlišné enzymatické systémy. Díky čemuž jsou houby schopné trávit celulózu, což využívají k pronikání do živých rostlinných buněk a fungují tak jako parazitické organismy. Jejich peroxidázy a celulázy mohou hrát důležitou roli při tvorbě těkavých halogenovaných uhlovodíků.

Všechny použité přírodní vzorky rostlin produkovaly chloroform, většina jich produkovala (E)-1,3-dichlorpropen, tetrachlormethan a bromdichlormethan. Travník Schreberův a rokytník skvělý, pocházející oba z jednoho řádu rokytotvarých emitovaly až na pár výjimek totožné těkavé halogenované uhlovodíky, čímž byla potvrzena podobnost alespoň v rámci řádu. V ostatních stanovovaných řádech mechorostů byl však vždy stanovován pouze jeden zástupce, proto bude v budoucnu nutné provést taxonomické zmapování a pro každý řád stanovit emise u několika zástupců mechorostů.

Dle literatury<sup>23</sup> bylo z vyšších rostlin a meků izolováno více než 130 chlorovaných sloučenin, téměř polovina jich jsou polyacetyleny, thiofeny a seskviterpeny laktonů z čeledi hvězdnicovitých (*Asteraceae*). A speciální analýza<sup>24</sup> kapradiny papratky samičí (*Athyrium filix-femina*) a mechu ploníku obecného (*Polytrichum commune* Hedw.) odhalila emise chloroformu, tetrachlormethanu a 1,1,1-trichlorethanu. Analýza mnou stanovované kapradiny puchýrníku křehkého taktéž prokázala emise chloroformu, tetrachlormethanu a ještě několika dalších těkavých halogenovaných látek, avšak 1,1,1-trichlorethan mezi nimi nebyl, přestože oba druhy kapradin patří do stejného řádu osladičotvarých (*Polypodiales*), avšak papratka samičí pochází z čeledi paprnatkovitých a puchýrník křehký z čeledi puchýrníkovitých, takže odlišnosti v chemické diverzitě emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků mohou být způsobeny fyziologickými odlišnostmi obou druhů kapradin. Ani analýza emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků ploníku ztenčeného neukázala oproti emisím ploníku obecného

z literatury emise 1,1,1-trichlorethanu. Zato emise chloroformu i tetrachlormethanu stanoveny byly, stejně jako emise mnoha dalších těkavých chlorovaných i bromovaných uhlovodíků. Přestože oba druhy mechů pocházejí ze stejného rodu ploníků (*Polytrichum*) i zde mohou být nalezeny drobné odlišnosti v emisích, způsobené místem odběru, množstvím obsažených živin v půdě i roční dobou odběru vzorků, dále je také možné, že v literatuře použitá metodika mohla mít pro analyzované látky nižší detekční limit, než nami používaná metoda. Mnou odebrané vzorky ploníku ztenčeného pocházely oblastí brdských rašelinišť, bohatých na huminové kyseliny, ze kterých se přirozeně tvoří chloroform a chloroctové kyseliny.<sup>61</sup>

Bylo potvrzeno, že chloroform je skutečně jednou z hlavních plyných biogenních chlorovaných látek, neboť byl emitován všemi mnou stanovovanými vzorky. Stejně jako u rostlinných vzorků byl všemi použitými vzorky stopkovýtusných hub emitován chloroform, avšak všemi stanovovanými vzorky byl zároveň produkován i tetrachlormethan, u lištičky pomerančové a čirůvky fialové pak byla ještě pozorována emise dichlormethanu, ačkoli tyto dva vzorky pocházejí z rozdílných řádů. Stejně jako všechny vzorky rostlin a stopkovýtusných hub emitovaly všechny stanovované vzorky vřeckovýtrusných hub chloroform, dále pak všechny emitovaly dichlormethan, s výjimkou *Trichodetma harzianum* a *Geotrichum candidum* všechny emitovaly benzylchlorid a pouze *Truncatella angustata*, *Geotrichum candidum* a *Zygorhynchus moelleri* produkovaly tetrachlormethan.

Korelační analýzou byly porovnány přirozené emise VOCl, které se tvoří fyziologickými enzymatickými procesy, s emisemi ovlivněnými stresem vyvolanými změnami v enzymatických procesech po přidavku roztoku chloridu sodného o různé koncentraci po 24 a 48 h. Expozice vzorků chloridu sodnému zde byla použita jako stresový faktor, neboť environmentální stres jako je expozice salinitě, suchu, teplotě a UV záření ovlivňuje některé enzymatické procesy v rostlinných buňkách. Ačkoli bělomech sivý, travník Schreberův, rokytník skvělý a měřík čeřitý pocházejí z jedné třídy *Bryopsida*, nebyla korelační analýzou potvrzena jiná příbuznost, než pokles emisí organohalogenů u bělomechu sivého a měříku čeřitého po přidavku 0,12 M roztoku chloridu sodného po 24 i 48 h. Žádná korelační závislost není viditelná mezi travníkem Schreberovým a rokytníkem skvělým, což je překvapivé zjištění neboť oba pocházejí z jednoho řádu rokytotvarých a jsou tedy blízce příbuzné. Ve třídách *Polytrichopsida*, *Sphagnopsida* a *Marchantiopsida* byl v každé třídě stanovován pouze jeden zástupce. Za řád *Polytrichopsida* ploník ztenčený, za řád *Sphagnopsida*, rašeliník ztenčený a v řádu *Marchantiopsida* porostnice mnohotvárná.

Pro lepší porozumění procesům probíhajících v mechorostech je třeba provést širší taxonomickou studii s proměřením více druhů z již zmiňovaných tříd a řádů a stanovit efekt solení pro více přidávaných koncentrací roztoků chloridu sodného.

Oproti vzorkům mechorostů produkovaly přeslička rolní a kaprad'orost puchýrník křehký až desetkrát vyšší koncentrace emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků, jelikož zatímco se emise u vzorků mechorostů pohybovaly v desítkách ppb na 1 g DW vzorku, u přesličky rolní a puchýrníku křehkého emise dosahovaly koncentrací ve stovkách ppb na 1 g DW vzorku.

Všechny mechorosty jsou zahrnuty do mechového patra, zatímco přesličky a kaprad'orosty, dosahující svou výškou i více než jednoho metru, zasahují do bylinného patra a jsou evolučně mladší než mechorosty.

Téměř u všech rostlinných vzorků se koncentrace emisí organohalogenů druhý den zvyšovala, až na ploník ztenčený, kde se koncentrace všech analytů kromě chloroformu snížila, a měříku čeřitého, kde koncentrace po 24 a 48 h zůstaly téměř beze změny.

U vzorků stopkovýtrusných hub byla naopak korelací přibuznost prokázána. Všechny použité vzorky stopkovýtrusných hub pocházely ze třídy *Agaromycetes*, čirůvka fialová a pečárka nepříjemná z řádu *Agaricales*, zatímco lištička pomerančová z řádu *Boletales*. U obou vzorků hub z řádu *Agaricales*, čirůvky fialové i pečárky nepříjemné, se zvyšovala koncentrace emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků po přidavku 0,06 M roztoku chloridu sodného po 24 i 48 h. U vzorku z řádu *Boletales*, lištičky pomerančové, se naopak koncentrace emitovaných těkavých halogenovaných uhlovodíků po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného snižovaly po 24 i 48 h. Bylo by vhodné prozkoumat další druhy hub z řádu *Boletales* pro porovnání hodnot s již proměřenou lištičkou pomerančovou a samozřejmě také další druhy z řádu *Agaricales*. Také je potřeba proměřit další koncentrace přidávaných chloridů ke vzorkům hub, hlavně 0,12 M roztok chloridu sodného, neboť tato koncentrace byla použita při stanovení u přírodních vzorků rostlin.

Dle literatury je čirůvka fialová (*Lepista nuda*) jedním ze zástupců stopkovýtrusných hub, schopných produkce organicky vázaných halogenů, jako např. chlorovaných benzaldehydů, detekovaných de novo v množství 0,2-82 µg na gram suché váhy.<sup>11</sup> Při našem měření nebyly chlorované benzaldehydy cíleně stanovovány, avšak naměřené hodnoty detekovaných těkavých halogenovaných uhlovodíků se pohybovaly v jednotkách až desítkách ppm, tedy mg/l na 1 g DW. Tento rozdíl může být způsoben odlišnou metodikou používanou pro stanovení těkavých halogenovaných uhlovodíků emitovaných vzorkem čirůvky fialové, jiným fyziologickým stářím analyzovaného vzorku a možnou temperací vzorku před stanovením, neboť temperace může způsobit tvorbu artefaktů. Taktéž emise methylchloridu,

methylobromidu a metylijodidu z ektomykorhizálních hub v literatuře<sup>12</sup> se pohybovaly v jednotkách až desítkách µg na 1 g suché váhy hub za den. Ektomykorhizální houby jsou důležitým zdrojem methylhalidů v atmosféře, avšak naše měření tento význam ještě prohlubuje, neboť všechny mnou stanovené vzorky stopkovýtrusných hub produkovaly emise těkavých halogenovaných uhlovodíků v řádech ppm, tedy tisícinásobně více. Je třeba porovnat mnou naměřené látky s literaturou a stanovit stejné analyty různými metodami pro porovnání výsledků odlišných analýz.

U vzorků vřekovýtrusných hub se téměř bez výjimky koncentrace všech stanovených analytů po 48 h zvýšila, případně zůstala beze změny. V případě druhů *Fusarium sp.* a *Paecilomyces sp.* se koncentrace po přidavku 0,06 M roztoku chloridu sodného zvyšovaly po 24 i 48 h, zatímco u druhů *Truncatella angustata*, *Trichoderma harzianum* a *Geotrichum candidum* se koncentrace po přidavku 0,06 M roztoku chloridu sodného snižovaly po 24 i 48 h. Pouze u druhu *Zygorhynchus moelleri* se koncentrace emitovaných těkavých halogenovaných uhlovodíků po 24 h nejprve zvyšovala, zatímco po 48 h se oproti přirozeným halogenačním procesům snižovala.

Vzorky stopkovýtrusných i vřekovýtrusných hub emitovaly obdobné množství těkavých halogenovaných uhlovodíků, tedy maximálně v řádech desítek ppm na 1 g DW vzorku, což poukazuje na jejich taxonomickou podobnost.

Ovlivnění přirozených chloračních procesů rostlin, bylo podle vzoru z literatury<sup>73</sup> testováno pro přidání 0,06 M a 0,12 M roztoky chloridu sodného po 24 a 48 h. Kvůli nedostatku materiálu bylo pro stanovení vzorků hub použito pouze přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného. Pro rostlinné vzorky se po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného po 24 h koncentrace emitovaných těkavých halogenovaných uhlovodíků zvýšila pouze u vzorku bělomechu sivého, travníku Schreberova, porostnice mnohotvárné a přesličky rolní, u ploníku ztenčeného, rašeliníku kostrbatého, rokytníku skvělého, měříku čeřitého, puchýřníku křehkého a přesličky rolní se koncentrace emisí naopak snižovala. Po 48 h se naopak koncentrace emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků u nestresovaných rostlin zvyšovala pouze u travníku Schreberova, rašeliníku kostrbatého, rokytníku skvělého a měříku čeřitého, pro bělomech sivý, ploník ztenčený, rokytník skvělý, porostnici mnohotvárnou, puchýřník křehký a přesličku rolní se koncentrace emisí opět snižovala. Po přidání 0,12 M roztoku chloridu sodného k přírodním rostlinným vzorkům se po 24 h zvýšila koncentrace emisí oproti přirozeným chloračním procesům pouze u rokytníku skvělého a přesličky rolní. Po 48 h se koncentrace emisí zvýšila u ploníku ztenčeného, travníku Schreberova, rašeliníku kostrbatého a rokytníku skvělého, pro bělomech sivý, měřík čeřitý, porostnici mnohotvárnou,

puchýrník křehký a přesličku rolní se koncentrace emisí opět snížila. U vzorků stopkovýtrusných hub bylo po přidavku 0,06 M roztoku chloridu sodného ke vzorku po 24 i 48 h sledováno zvýšení koncentrace emisí těkavých chlorovaných uhlovodíků u lištičky pomerančové i pečárky nepříjemné, naopak u čirůvky fialové bylo po 24 i 48 h pozorováno snížení koncentrace, které nebylo pozorováno u ostatních vzorků stopkovýtrusných hub. Pro vzorky vřeckovýtrusných hub se po přidání 0,06 M roztoku chloridu sodného po 24 i 48 h zvýšila koncentrace emisí těkavých chlorovaných uhlovodíků pouze pro *Fusarium sp.* a *Paecilomyces sp.*. Pro *Truncatella angustata*, *Trichoderma harzianum* a *Geotrichum candidum* se po 24 i 48 h koncentrace emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků snižovala. Pouze pro *Zygorhynchus moelleri* se po 24 h emise oproti přirozeným chloračním procesům zvyšovaly, avšak po 48 h se snižovaly.

Methylhalidy jsou v rostlinných buňkách syntetizovány enzymatickým transferem methylové skupiny donorem S-adenosyl-L-methioninem (SAM) na akceptorové halidy. Množství vznikajících methylhalidů řídí methyltransferázová aktivita, množství halidových iontů a množství SAM v rostlinné buňce. Ačkoli je obsah SAM klíčový pro velké množství biologických transmethylačních reakcí v rostlinných buňkách, jeho přesné množství není známo, neboť je jeho stanovení velmi obtížné. Množství SAM v rostlinných buňkách se může přechodně snižovat, když v odpovědi na environmentální stres potřeba SAM určitých transmethylačních reakcích vzroste. Stres indukuje syntézu většího množství obranných produktů používajících SAM, čímž zřejmě omezují jeho použití v halidových transmethylačních reakcích. Pokles emisí methylhalidů po expozici salinitě byl pravděpodobně způsoben přítomností solného stresu.<sup>74</sup>

Methyltransferázová aktivita je závislá na teplotě, u houbových kultur by se mělo množství emitovaných organohalogenů zvyšovat při růstové teplotě 30°C, avšak naše vzorky byly vždy ponechávány v laboratorních podmínkách při konstantní teplotě 23°C. Methyltransferázová aktivita není ovlivňována jen vyšší teplotou, ale i relativní vlhkostí a expozicí slunečnímu záření, kvůli transpiraci rostlin je relativní vlhkost v průběhu dne o něco vyšší, stejně tak teplota a množství dopadajícího slunečního záření. Methyltransferázová aktivita rostlin může v závislosti na změně těchto parametrů odpovídat pozitivně i negativně. Avšak ani slunečnímu záření nebyly naše vzorky přímo vystavovány. Je proto možné předpokládat, že emise těkavých halogenovaných uhlovodíků mohou být zejména v letních měsících v přirozených ekosystémech vyšší, než mnou naměřené hodnoty. Také rozpustnost látek v rostlinných tkáních může ovlivňovat měření, kvůli možné absorpci některých látek do rostlinného materiálu.



Snížení emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků, které bylo pozorováno v rámci měření po 48 h, by vzhledem k uzavřené atmosféře uvnitř vialek, mohlo být způsobeno enzymatickou inhibicí zpětnou vazbou, kdy produkt metabolické dráhy inhibuje zpětně některou z reakcí, většinou první reakci, vedoucí k jeho vzniku. Z toho vyplývá, že některé rostliny mohou dávat krátkodobou, nebo dlouhodobou rychlou odpověď na stresové prostředí. Pokud je reakce rychlá a dlouhodobá, tak se i po 48 h tvoří mnou sledované VOCl látky.

Zvyšování množství emitovaných těkavých chlorovaných uhlovodíků po vystavení salinitě je nejspíše zapříčiněno pozitivním ovlivněním některé z probíhajících enzymových reakcí, neboť množství halidových iontů také ovlivňuje míru tvorby těkavých halogenovaných uhlovodíků.

## 6 Závěr

V životním prostředí biogenně vzniká několik tisíc halogenovaných sloučenin, z čehož jsou nejvíce zastoupeny bromované a chlorované sloučeniny. Emise těchto přirozeně vznikajících látek a některé antropogenní polutanty významným způsobem ovlivňují životní prostředí. Veškeré jejich přírodní zdroje však doposud nejsou známy. Chloridy mohou vstupovat do rostlinného materiálu s transpiračním proudem a anorganický chlor se částečně zabudovává do organického substrátu pomocí enzymových reakcí. Rostliny tak mohou vylučovat chlor v podobě emisí těkavých chlorovaných uhlovodíků do atmosféry. Nejvíce doposud známých biogenních organohalogenů je mořského původu, mnoho dalších bylo nalezeno v suchozemských rostlinách, houbách, lišejnících, bakteriích, hmyzu a dokonce i u některých vyšších živočichů včetně lidí. Antropogenní organohalogeny pocházejí především z průmyslových výrob, kde se chlor a jeho deriváty používají k výrobě průmyslových produktů.

Vhodnost doporučené metodiky (SPME spojené s GC-MS) byla ověřena na standardech těkavých halogenovaných uhlovodíků, obsahujících desítky halogenovaných látek za použití různých SPME vláken. Nejvhodnější vlákno pro stanovení analyzovaných těkavých halogenovaných uhlovodíků bylo vybráno pomocí porovnání citlivosti různých SPME vláken v literatuře a v předchozích měřeních. Pro prekoncentraci těkavých halogenovaných uhlovodíků ve vzorcích byla následně použita metoda headspace-SPME a k jejich detekci a identifikaci byl použit plynový chromatograf s hmotnostní detekcí (GC-MS).

Vzorky přírodního rostlinného materiálu byly odebírány v ekosystému smrkového lesa. Pro odběry byla vybrána extrémně čistá místa v životním prostředí, jako ochranná pásma vodních zdrojů, kde jsou antropogenní vlivy minimální, a kontaminace lidskými polutanty je nepravděpodobná. Dále byly naměřené emise v laboratoři na agaru pěstovaných hub, hojně se vyskytujících ve smrkových porostech a v jejich půdách.

Byly detekovány emise těkavých halogenovaných uhlovodíků, především chloroformu, dále pak (E)-1,3-dichlorpropenu, tetrachlormethanu, bromdichlormethanu a 1,2-dibromethanu. V menší míře vznikaly další halogenované methany, ethany a také benzylchlorid. Bylo prokázáno, že všechny stanovované vzorky rostlinného materiálu i hub vykazují schopnost přirozené halogenace.

Pro všechny použité vzorky rostlin a hub byl současně ověřen efekt přídavku chloridu sodného, aby se dále objasnily přirozené halogenační procesy. Bylo prokázáno, že u většiny stanovovaných vzorků byly přirozené halogenační procesy ovlivněny po vystavení roztokům

chloridu sodného o různých koncentracích po dobu 24 a 48 h, což se projevilo zvyšováním koncentrace stanovovaných analytů. V několika případech došlo i ke snížení koncentrace emisí stanovovaných analytů, což mohlo být způsobeno ovlivněním metabolických drah rostlin kvůli solnému stresu a také částečně enzymovou inhibicí zpětnou vazbou způsobenou uzavřením stanovovaných vzorků ve vialkách. Další možností je absorpce některých emitovaných látek zpět do rostlinného materiálu.

Bylo potvrzeno, že anorganické chloridy, které se dostávají do lesního ekosystému nejrůznějšími cestami, včetně antropogenních vlivů, ovlivňují množství emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků emitovaných do atmosféry. Vezmeme-li v potaz plochu zalesněného povrchu Země, nelze tyto přirozené zdroje emisí těkavých halogenovaných uhlovodíků v celosvětovém měřítku zanedbat.

Pro budoucí výzkum bych doporučila proměřit emise těkavých halogenovaných uhlovodíků na dalších přírodních vzorcích rostlin, hub a také lišejníků, a to především u hojně se vyskytujících a halofilních druhů. Slibné výsledky by také mohl přinést výzkum efektů dalších koncentrací přídatku chloridu sodného na přírodní vzorky. Takováto měření by mohla být následně porovnána s výsledky předchozích měření.

## 7 Použitá literatura

1. Winterton, N. Chlorine: the only green element – towards a wider acceptance of its role in natural cycles. *Green Chem.* **2**, 173–225 (2000).
2. Porter, G. Chlorine - an introduction. *Pure Appl. Chem.* **68**, 1683–1687 (1996).
3. Graedel, T. E. & Keene, W. C. The budget and cycle of Earth's natural chlorine. *Pure Appl. Chem.* **68**, 1689–1697 (1996).
4. Öberg, G. The natural chlorine cycle - fitting the scattered pieces. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **58**, 565–81 (2002).
5. Gribble, G. W. The diversity of natural organochlorines in living organisms. *Pure Appl. Chem.* **68**, 1699–1712 (1996).
6. Gribble, G. W. A recent survey of naturally occurring organohalogen compounds. *Environ. Chem.* **12**, 396–405 (2015).
7. Williams, D. H. & Bardsley, B. The Vancomycin Group of Antibiotics and the Fight against Resistant Bacteria. *Angew. Chemie Int. Ed.* **38**, 1172–1193 (1999).
8. Gribble, G. W. Natural Organohalogens. *Euro Chlor*, 1-80 (2004).
9. Hoekstra, E. J., Verhagen, J. M., Field, J. A., De Leer, E. W. B. & Brinkman, U. A. T. Natural Production Of Chloroform By Fungi. *Phytochemistry* **49**, 91–97 (1998).
10. Field, J. A., Verhagen, F. J. M. & de Jong, E. Natural organohalogen production by basidiomycetes. *Elsevier Sci. Ltd* **13**, 451–456 (1995).
11. Hjelm, O., Johansson, E. & Öberg, G. Production of organically bound halogens by the litter-degrading fungus *Lepista nuda*. *Soil Biol. Biochem.* **31**, 1509–1515 (1999).
12. Redeker, K. R., Treseder, K. K. & Allen, M. F. Ectomycorrhizal fungi: A new source of atmospheric methyl halides? *Glob. Chang. Biol.* **10**, 1009–1016 (2004).
13. Watling, R. & Harper, D. B. Chloromethane production by wood-rotting fungi and an estimate of the global flux to the atmosphere. *Mycol. Res.* **102**, 769–787 (1998).
14. Khalil, M. A. K. & Rasmussen, R. A. Atmospheric methyl chloride. *Atmos. Environ.* **33**, 1305–1321 (1999).
15. Moore, R. M., Gut, A. & Andreae, M. O. A pilot study of methyl chloride emissions from tropical woodrot fungi. *Chemosphere* **58**, 221–5 (2005).
16. Gschwend, P. M., MacFarlane, J. K. & Newman, K. A. Volatile Halogenated Organic Compounds Released to Seawater from Temperate Marine Macroalgae. *Science*. **227(4690)**, 1033–1035 (1985).
17. Gribble, G. W. Organochlorines - natural and anthropogenic. *Environmental Health* , 161–176 (1999).
18. McConnell, O. & Fenical, W. Halogen chemistry of the red alga *Asparagopsis*. *Phytochemistry* **16**, 367–374 (1977).
19. Burja, A. M., Banaigs, B., Abou-Mansour, E., Burgess, J. G. & Wright, P. Marine cyanobacteria – a prolific source of natural products. *Tetrahedron* **57**, 9347–9377 (2001).
20. McMurry, J. *Organická chemie.*, 365-383 (2007).

21. Laturus, F. Marine Macroalgae in Polar Regions as Natural Sources for Volatile Organohalogenes. *Mar. Pollution* **8**, 103–108 (2001).
22. Gribble, G. W. The diversity of naturally produced organohalogenes. *Chemosphere* **52**, 289–97 (2003).
23. Engvild, K. C. Chlorine-containing natural compounds in higher plants. *Phytochemistry* **2**, 781–791 (1986).
24. Laturus, F. & Matucha, M. Chloride - a precursor in the formation of volatile organochlorines by forest plants? *J. Environ. Radioact.* **99**, 119–25 (2008).
25. Redeker, K. R., Manley, S. L., Walser, M. & Cicerone, R. J. Physiological and biochemical controls over methyl halide emissions from rice plants. *Global Biogeochem. Cycles* **18**, 1–14 (2004).
26. MacLeod, A. J. & Troconis, N. G. Volatile flavor components of sapodilla fruit (*Achras sapota* L.). *Agr. Food Chem.* **30**, 515–517 (1982).
27. Isidorov, V. A., Zenkovich, I. G. & Ioffe, B. V. Volatile organic compounds in the atmosphere of forests. *Atmos. Environ.* **19**, 1–8 (1985).
28. Laturus, F., Haselmann, K. I. M. F., Borch, T. & Grøn, C. Terrestrial natural sources of trichloromethane (chloroform,  $\text{CHCl}_3$ ) – An overview. *Biogeochemistry* **60**, 121–139 (2002).
29. Khalil, M. A. K., Rasmussen, R. A., French, J. R. J. & Holt, J. A. The influence of termites in atmospheric trace gases  $\text{CH}_4$   $\text{CO}_2$   $\text{CHCl}_3$   $\text{N}_2\text{O}$   $\text{CO}$   $\text{H}_2$  and light hydrocarbons. *J. Geophys. Res.* **95**, 3619–3634 (1990).
30. Wittsiepe, J., Kullmann, Y., Schrey, P., Selenka, F. & Wilhelm, M. Myeloperoxidase-catalyzed formation of PCDD/F from chlorophenols. *Chemosphere* **40**, 963–968 (2000).
31. Keene, C. & Logan, A. Global chlorine emissions from biomass burning : Reactive Chlorine Emissions Inventory. *Journal of Geophysical Research.* **104**, 8373–8389 (1999).
32. Fauvarque, J. The chlorine industry. *Pure Appl. Chem.* **68**, 1713–1720 (1996).
33. Joyce, M. E. *Chlorine and the environment*. 1-4 (1995).
34. Čílek, V. Přírodní produkce organohalogenů. *Vesmír* **74**, 668 (1995).
35. Millet, D. B. *et al.* Halocarbon Emissions from the United States and Mexico and Their Global Warming Potential. *Environ. Sci. Technol.* **43**, 1055–1060 (2009).
36. McCulloch, A. & Midgley, P. M. The history of methyl chloroform emissions: 1951 – 2000. *Atmos. Environ.* **35**, 5311–5319 (2005).
37. Zális, S. Chemie atmosféry. *Vesmír* **75**, 1–3 (1996).
38. Molina, M. J. Role of chlorine in stratospheric chemistry. *Pure Appl. Chem.* **68**, 1749–1756 (1996).
39. <http://www.theozonehole.com/montreal.htm>.
40. Hand, E. Record ozone hole may open over Arctic in the spring. *Atmos. Sci.* **351(6274)**, 650 (2016).
41. Collins, C., Laturus, F. & Nepovim, A. Remediation of BTEX and trichloroethene - current knowledge with special emphasis on phytoremediation. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **9**, 86–94 (2002).

42. Keene, C. *et al.* Composite global emissions of reactive chlorine from anthropogenic and natural sources : Reactive Chlorine Emissions Inventory. *Journal of Geophysical Research* **104**, 8429–8440 (1999).
43. Uhlířová, H., Pasuthová, J. & Matucha, M. Znečištění ovzduší a lesy. II. Chlorované sloučeniny. *Zprávy lesnického výzkumu*. **3-4**, 30–35 (1995).
44. Butler, J. Better budgets for methyl halides? *Nature* **403**, 260–261 (2000).
45. Platt, U. & Hönniger, G. The role of halogen species in the troposphere. *Chemosphere* **52**, 325–38 (2003).
46. [http://www.skincancer.org/media/legacy/stories/2009\\_Journal/Ozone/ozone\\_figure1.jpg](http://www.skincancer.org/media/legacy/stories/2009_Journal/Ozone/ozone_figure1.jpg).
47. Matucha, M. & Uhlířová, H. Těkavé chlorované uhlovodíky a úhyn lesa. *Biol. Listy* **67(3)**, 161–176 (2002).
48. Uhlířová, H., Matucha, M. & Novotný, R. Chlor v lesním ekosystému. Sůl nad zlato, ale ne v lesních porostech podél silnic. *Vesmír* **89**, 246–248 (2007).
49. Öberg, G. & Bastviken, D. Transformation of chloride to organic chlorine in terrestrial environments: Variability, extent, and implications. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* **42**, 2526–2545 (2012).
50. Walter, B. & Ballschmiter, K. Formation of C1/C2-bromo-/chloro-hydrocarbons by haloperoxidase reactions. *Fresenius J Anal Chem* **342**, 827–833 (1992).
51. Chromá, L., Macková, M., Macek, T., Martínek, V. & Stiborová, M. Rostlinné cytochromy P450 a peroxidasy a jejich úloha při degradaci kontaminantů životního prostředí. *Chem. List.* **95**, 212–222 (2001).
52. Laternus, F., Mehrtens, G. & Gron, C. Haloperoxidase-like activity in spruce forest soil - a source of volatile halogenated organic compounds. *Chemosphere* **31**, 3709–3719 (1995).
53. Kashparov, V. *et al.* Soil-to-plant halogens transfer studies 1. Root uptake of radioiodine by plants. *J. Environ. Radioact.* **79**, 187–204 (2005).
54. Frank, H., Frank, W. & Thiel, D. C1- and C2-halocarbons in soil-air of forests. *Atmos. Environ.* **23**, 1333–1335 (1989).
55. Frank, H., Vital, J. & Frank, W. Oxidation of airborne C2-chlorocarbons to trichloroacetic and dichloroacetic acid. *Fresenius Z Anal Chem* **333**, 712–713 (1989).
56. Schröder, P., Juuti, S., Roy, S., Sandermann, H. & Sutinen, S. Exposure to Chlorinated Acetic Acids: Responses of Peroxidase and Glutathione S-Transferase Activity in Pine Needles. *Environ. Sci. & Pollut. Res* **4(3)**, 163–171 (1997).
57. Coufal, D. *et al.* Analysis of coniferous forest damage: Effects of trichloroacetic acid, sulphur, fluorine and chlorine on needle loss of Norway spruce. *Neural Netw. World* **13**, 89–102 (2003).
58. Forczek, S. T. *et al.* Trichloroacetic acid in Norway spruce/soil-system. II. Distribution and degradation in the plant. *Chemosphere* **56**, 327–33 (2004).
59. Euro chlor. Trichloroacetic acid in the environment. , 1–45 (2002)
60. Hoekstra, E. J. & de Leer, E. W. B. Production of chlorinated organic compounds in soil. *Contam. Soil '93* **2**, 215–224 (1993).
61. Matucha, M. *et al.* Biogeochemical cycles of chlorine in the coniferous forest

- ecosystem: practical implications. *Plant soil environ.* **56**, 357–367 (2010).
62. Kalina, T. & Váňa, J. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii.*, 1–606 (2010).
  63. [www.BioLib.cz](http://www.BioLib.cz).
  64. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
  65. [www.botany.cz](http://www.botany.cz).
  66. [www.botany.natur.cuni.cz](http://www.botany.natur.cuni.cz).
  67. [www.myko.cz](http://www.myko.cz).
  68. Opekar, F., Jelínek, I., Rychlovský, P. & Plzák, Z. *Základní analytická chemie.*, 149–164 (2003).
  69. Cajthaml, T. Instrumentální organická analýza v životním prostředí., 1-177 (2015).
  70. Pawliszyn, J. Solid phase microextraction. *The Chemical Educator.* **4(2)**, 1–7 (1997).
  71. Pragst, F. Application of solid-phase microextraction in analytical toxicology. *Anal. Bioanal. Chem.* **388**, 1393–1414 (2007).
  72. [www.sigmaaldrich.com](http://www.sigmaaldrich.com).
  73. Abdul Qados, A. M. S. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* **10**, 7–15 (2011).
  74. Saito, T. & Yokouchi, Y. Diurnal variation in methyl halide emission rates from tropical ferns. *Atmos. Environ.* **40**, 2806–2811 (2006).

## **8 Přílohy**

**Příloha 1.** Chromatogram kapalného standardu EPA 624 Calibration Mix A

**Příloha 2.** Chromatogram plynného standardu Restek 34436-PI

**Příloha 3. - 20.** Kalibrační závislosti stanovených těkavých halogenovaných uhlovodíků

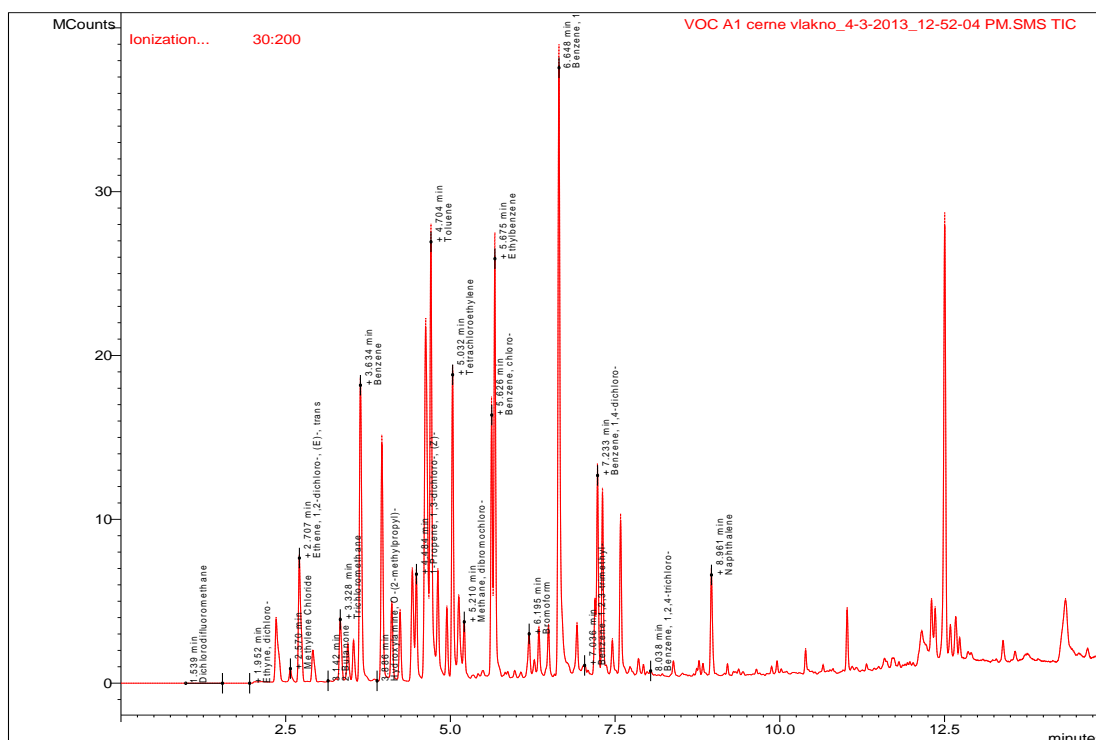
**Příloha 21. - 56.** Grafy koncentrací (c / ppb) a látkových množství (n / mmol) stanovených analytů na 1 g suché váhy (DW) za 24 a 48 h pro jednotlivé vzorky rostlin

**Příloha 57. - 68.** Grafy koncentrací (c / ppm) a látkových množství (n / mol) stanovených analytů na 1 g suché váhy (DW) za 24 a 48 h pro jednotlivé vzorky stopkovýtrusných hub

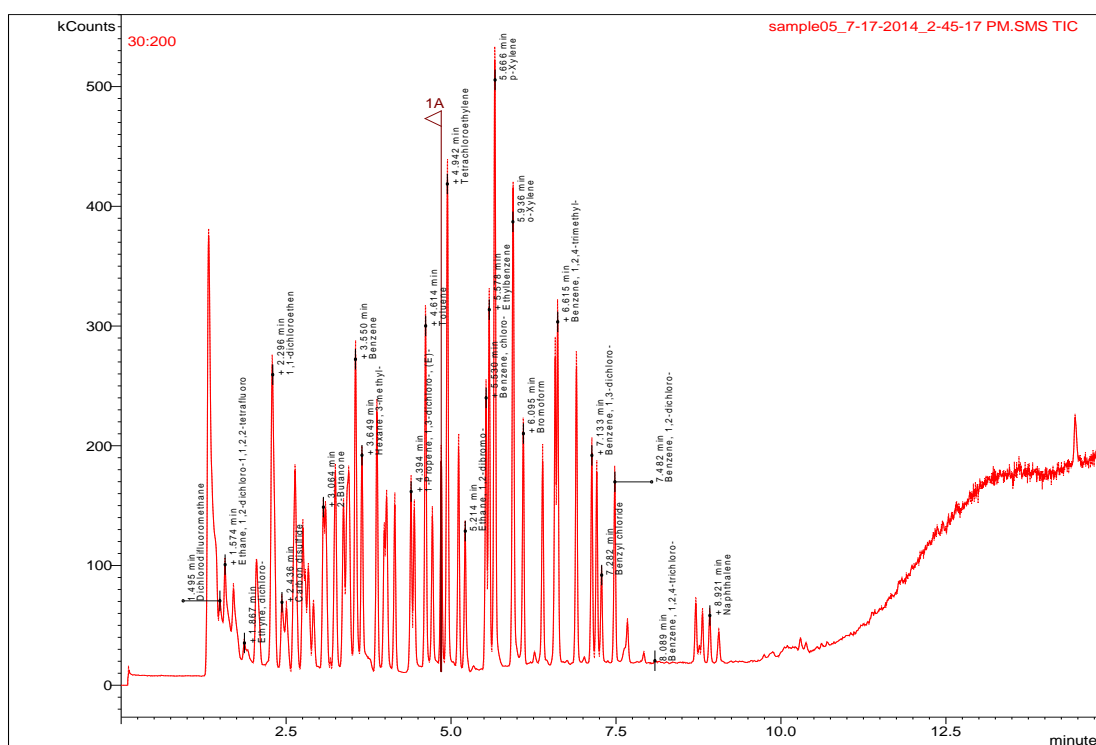
**Příloha 69. - 80.** Grafy koncentrací (c / ppm) a látkových množství (n / mol) stanovených analytů na 1 g suché váhy (DW) za 24 a 48 h pro jednotlivé vzorky vřeckovýtrusných hub

**Příloha 81. - 98.** Tabulky korelační analýzy pro jednotlivé vzorky rostlin a hub

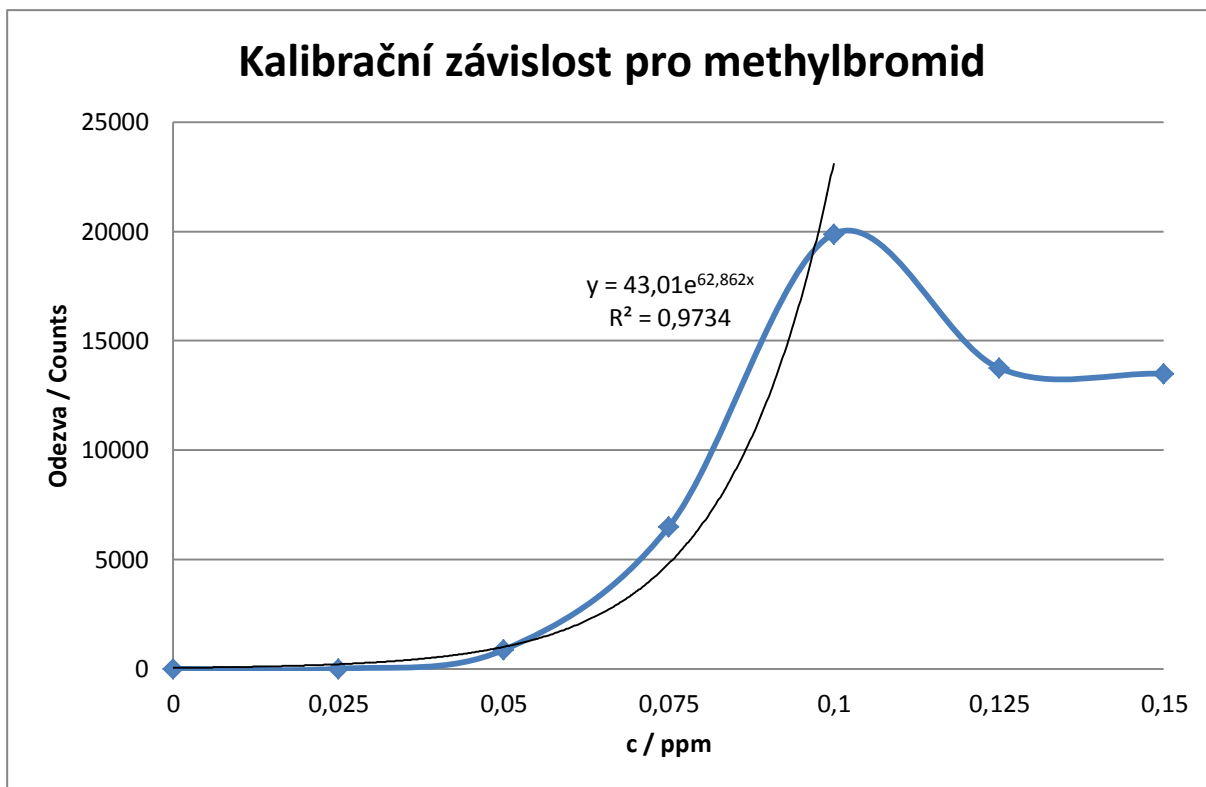




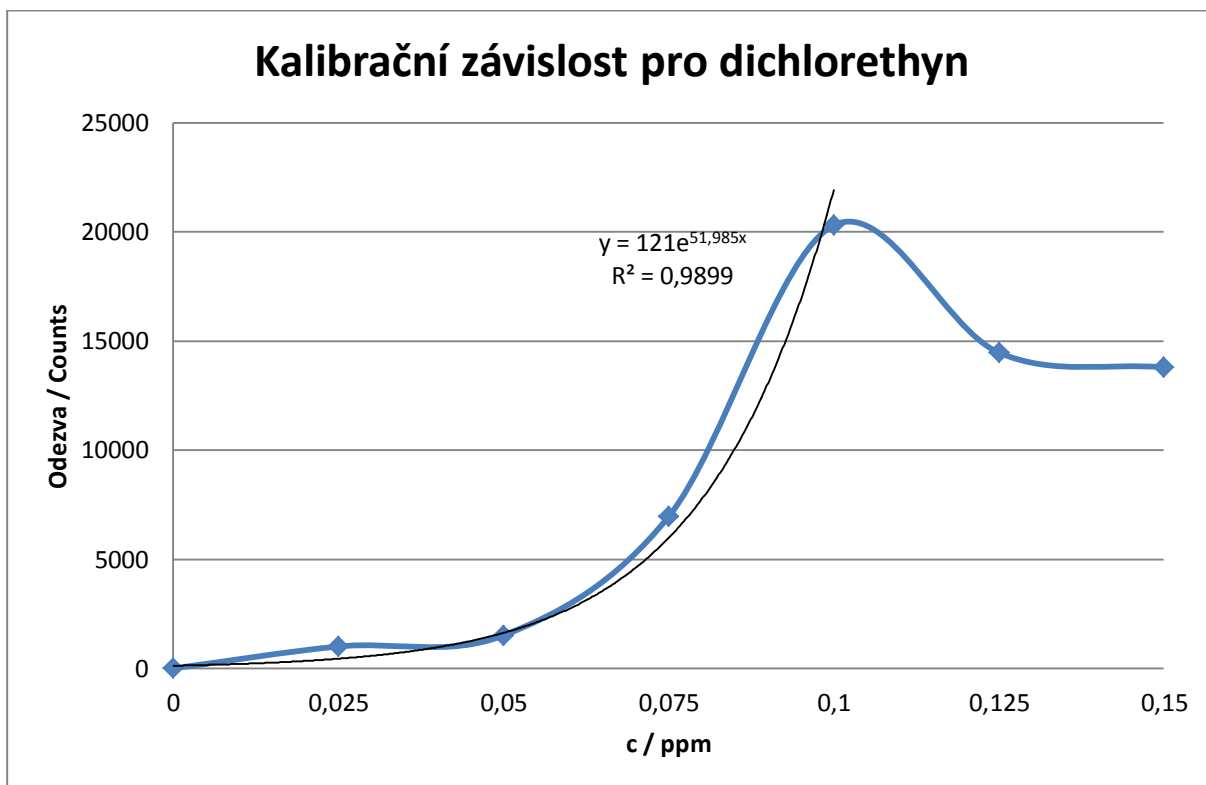
**Příloha 1.** Chromatogram kapalného standardu EPA 624 Calibration Mix A



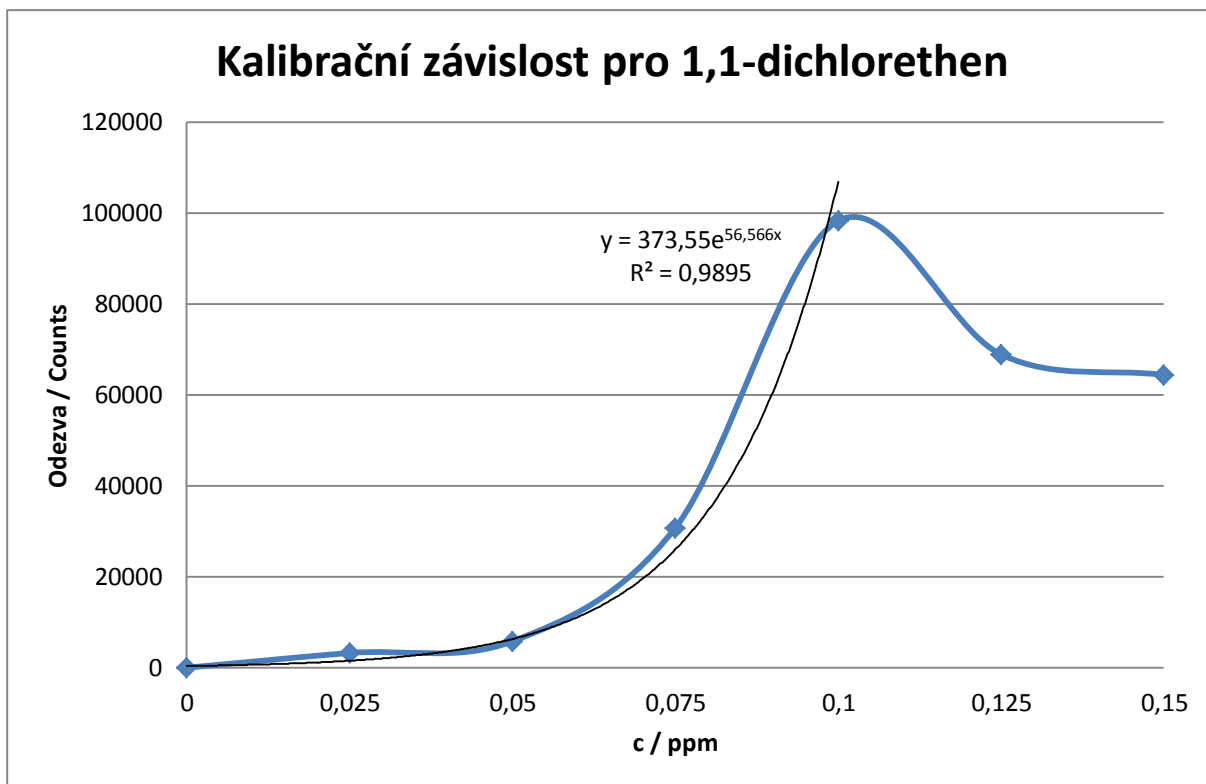
**Příloha 2.** Chromatogram plynného standardu Restek 34436-PI



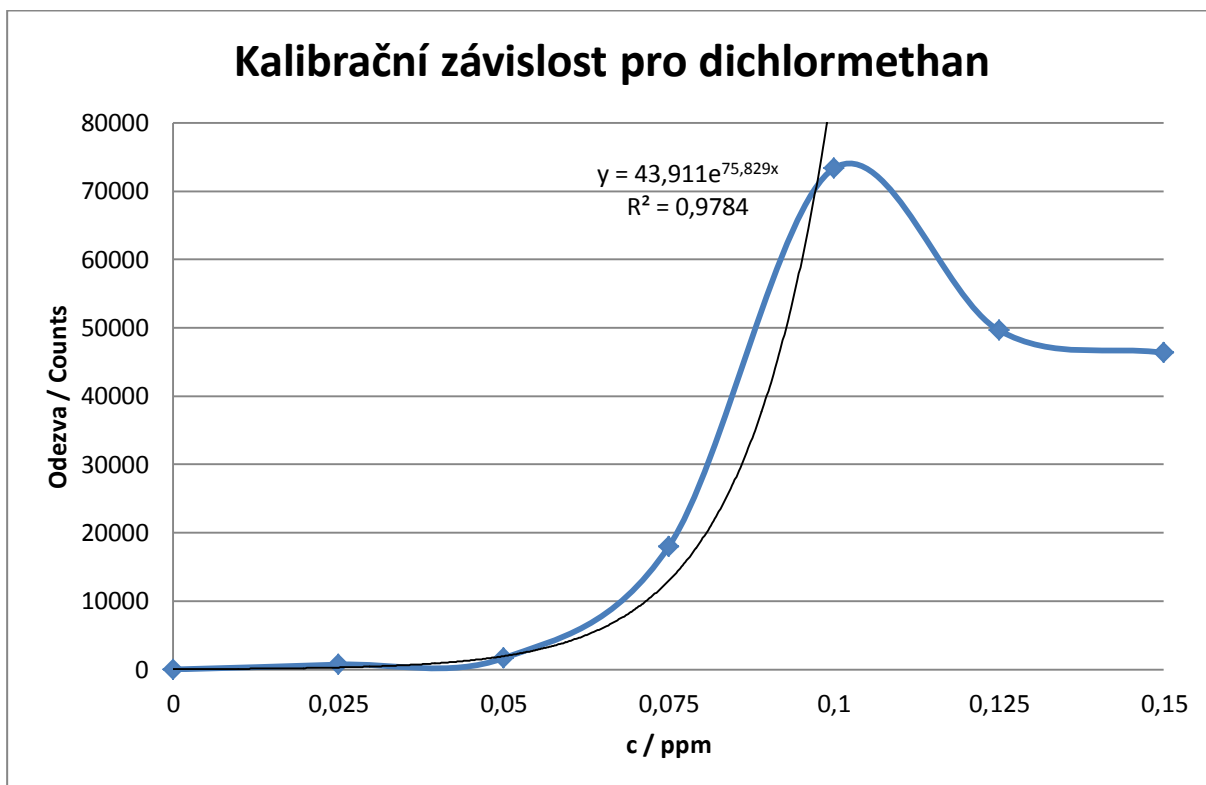
**Příloha 3.** Graf kalibrační závislosti pro methylbromid, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



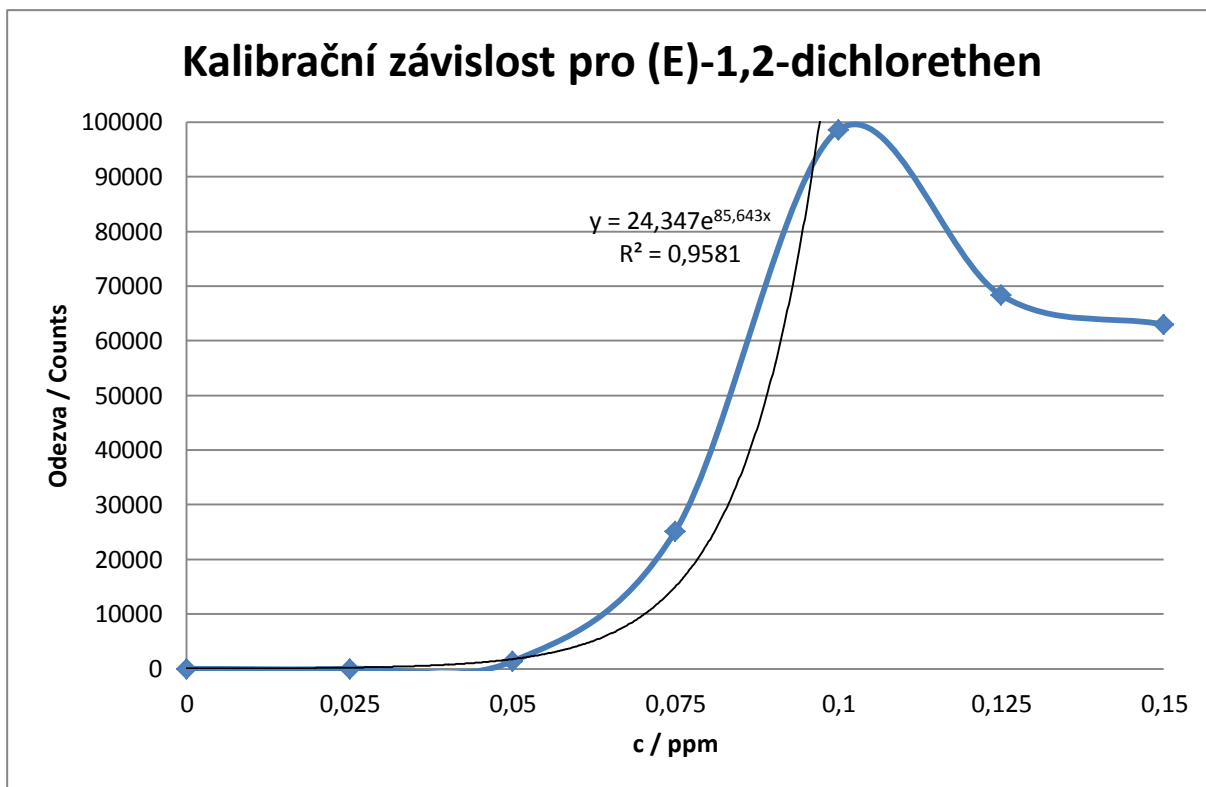
**Příloha 4.** Graf kalibrační závislosti pro dichlorethyn, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



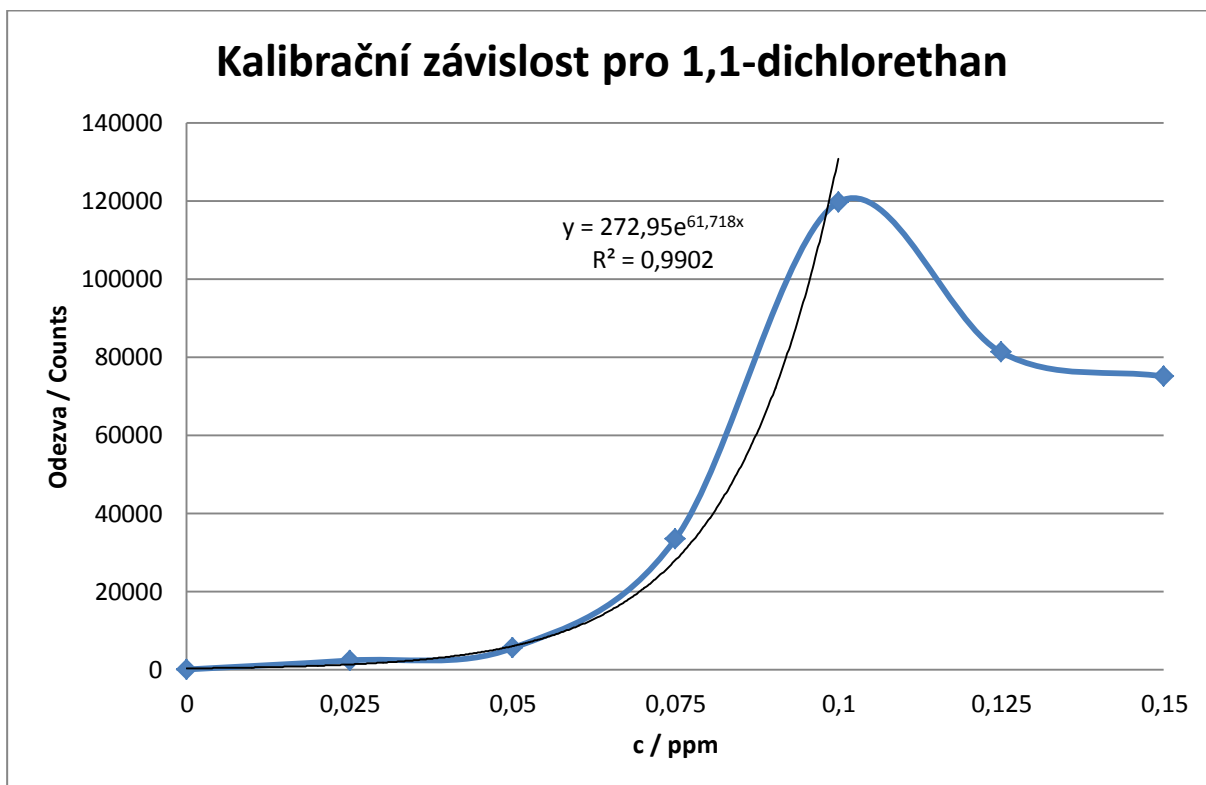
**Příloha 5.** Graf kalibrační závislosti pro 1,1-dichlorethen, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



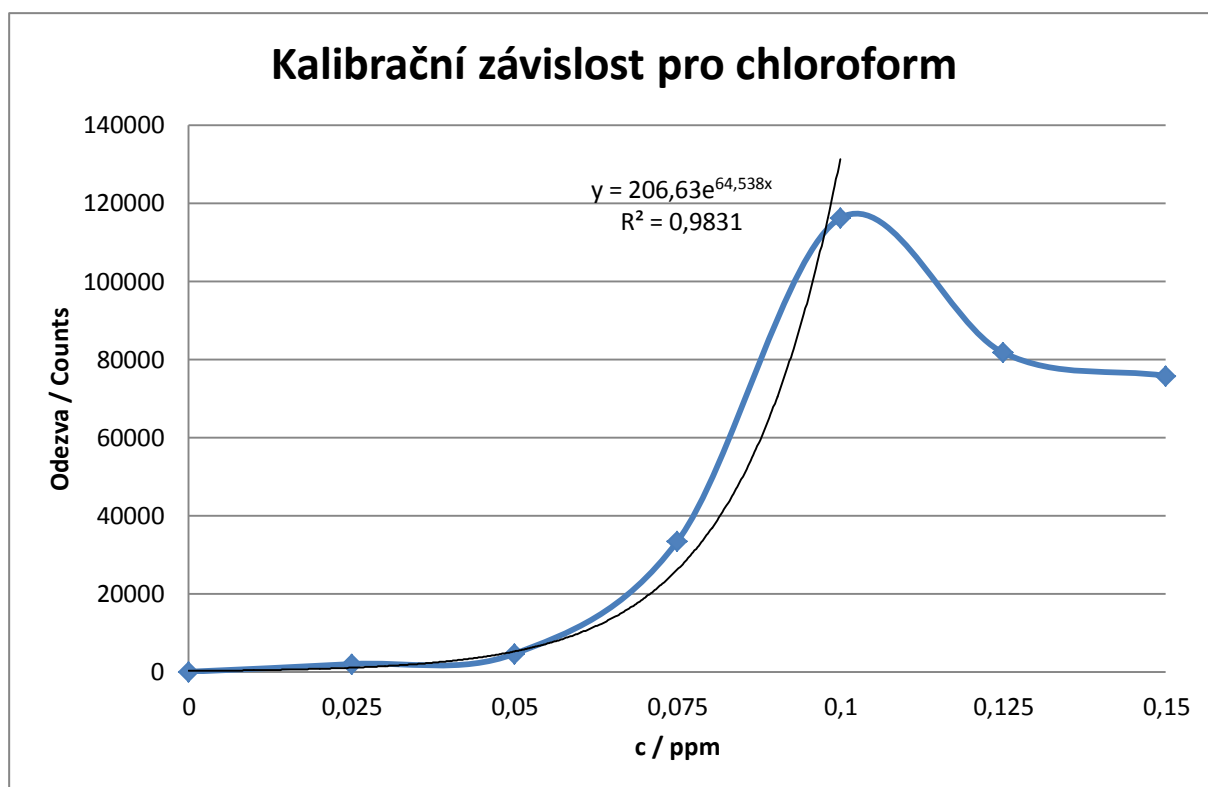
**Příloha 6.** Graf kalibrační závislosti pro dichlormethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



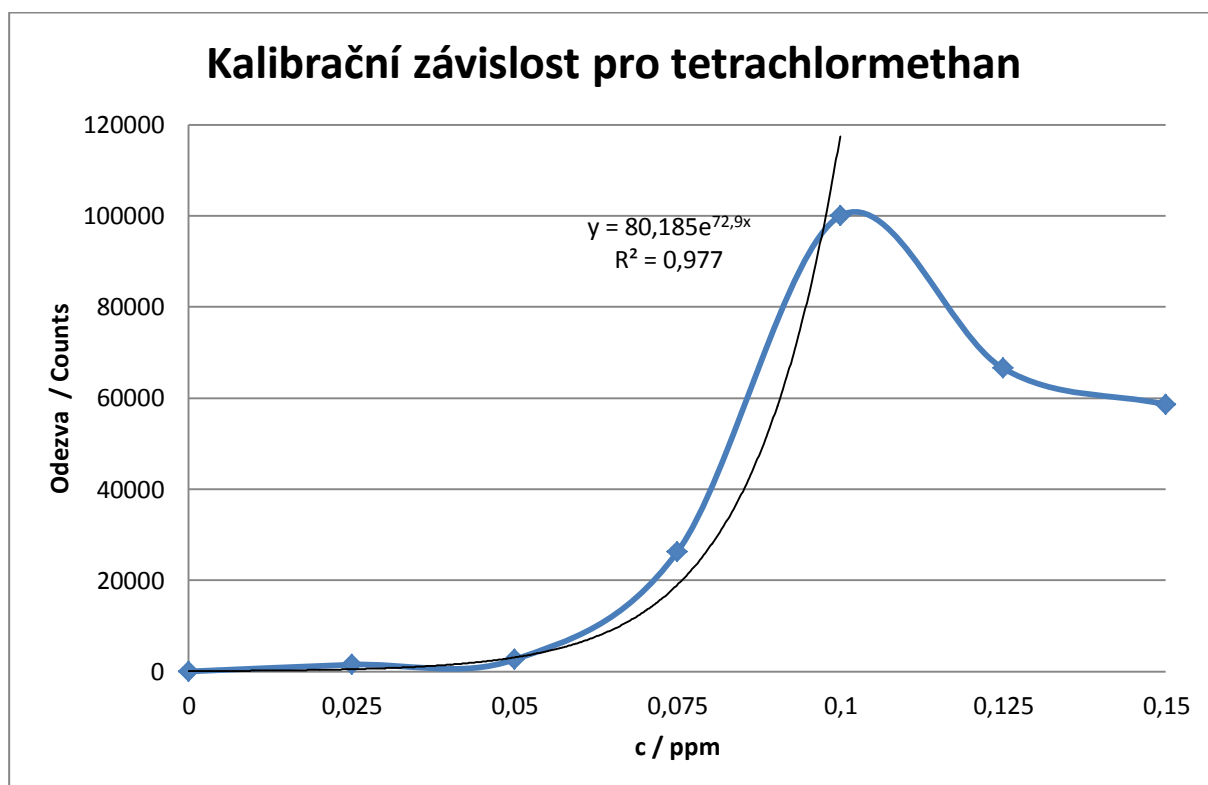
**Příloha 7.** Graf kalibrační závislosti pro (E)-1,2-dichlorethen, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



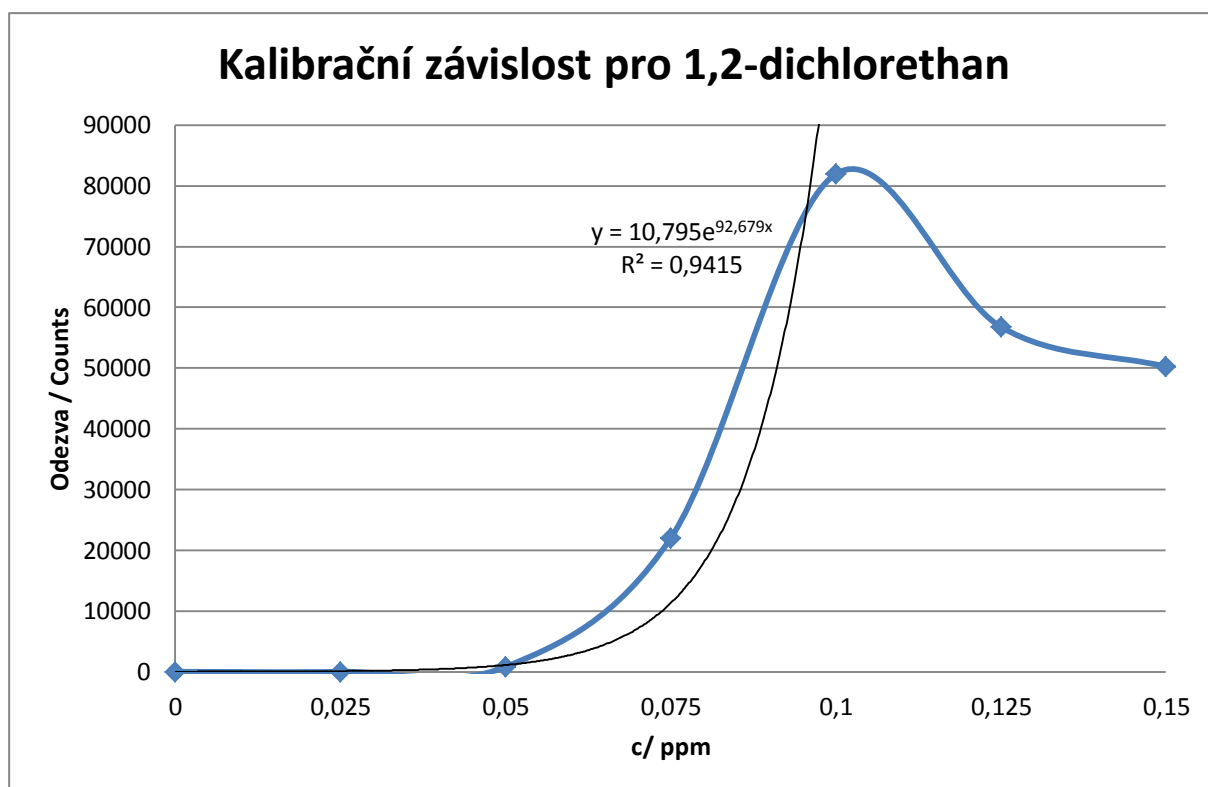
**Příloha 8.** Graf kalibrační závislosti pro 1,1-dichlorethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



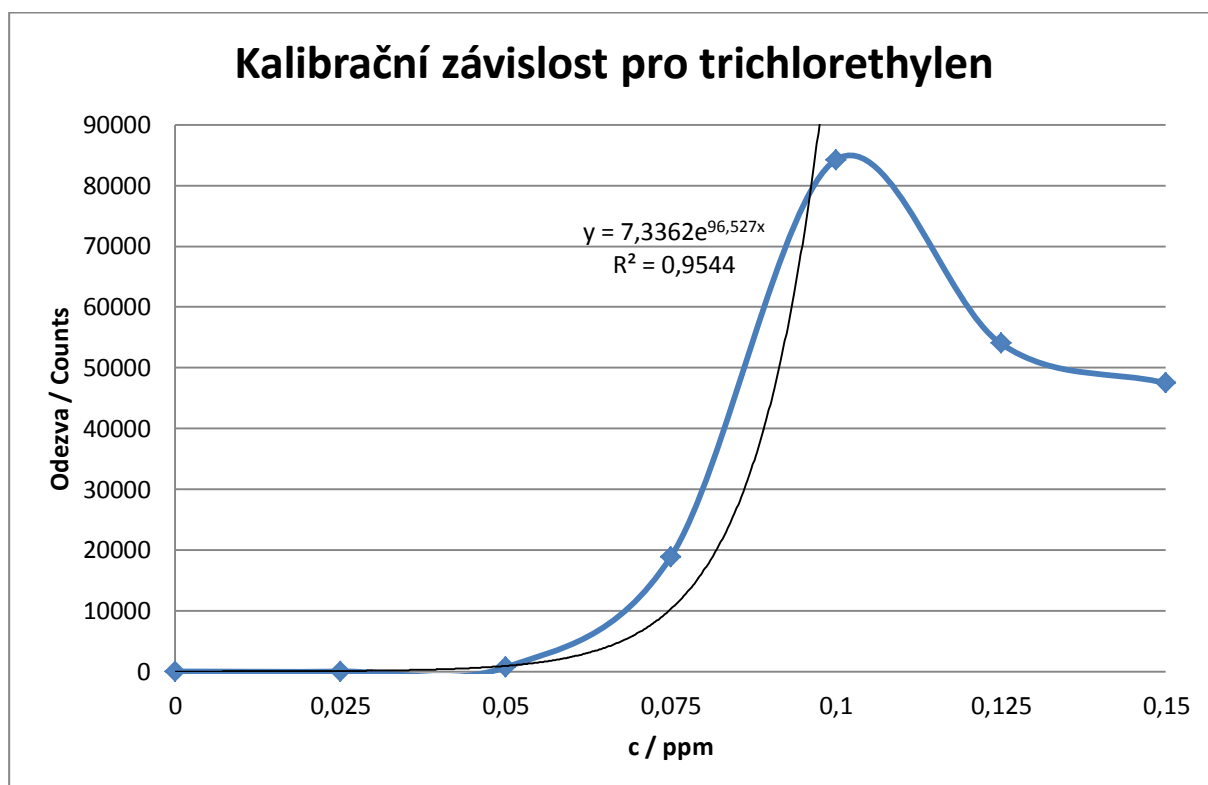
**Příloha 9.** Graf kalibrační závislosti pro chloroform, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



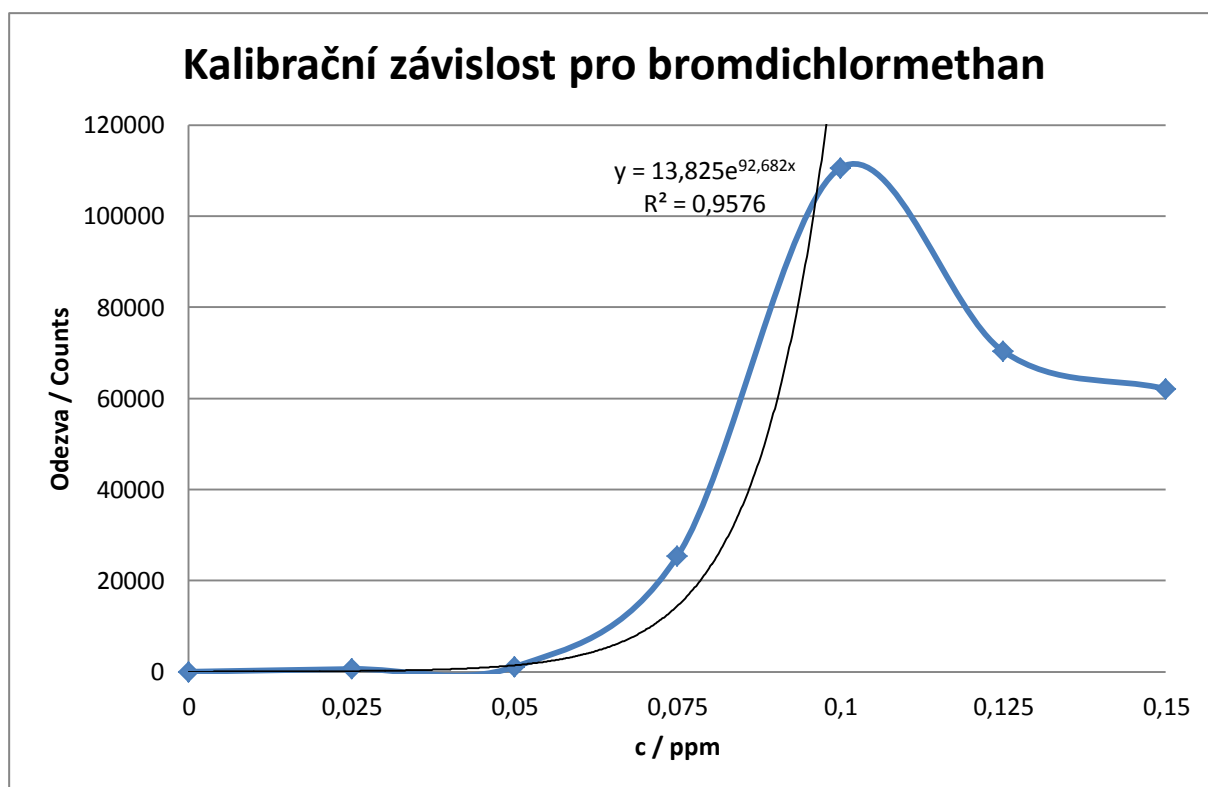
**Příloha 10.** Graf kalibrační závislosti pro tetrachlormethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



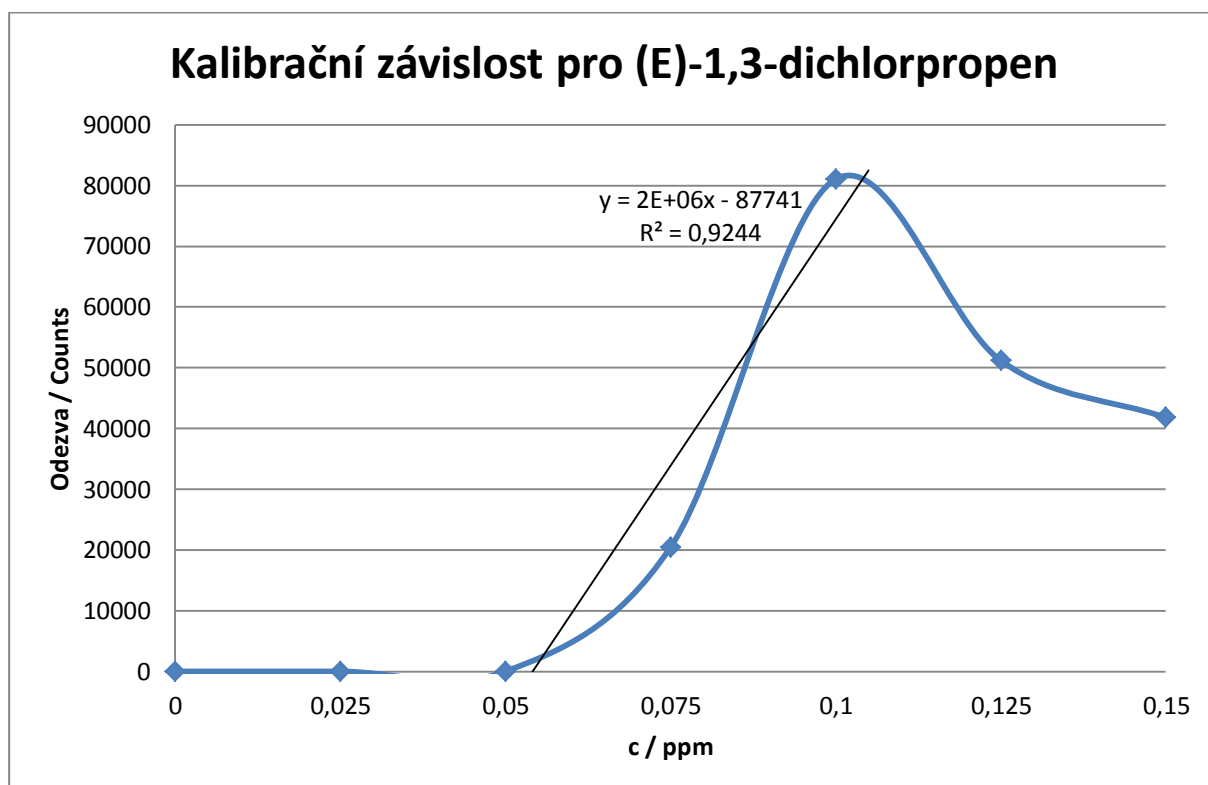
**Příloha 11.** Graf kalibrační závislosti pro 1,2-dichlorethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



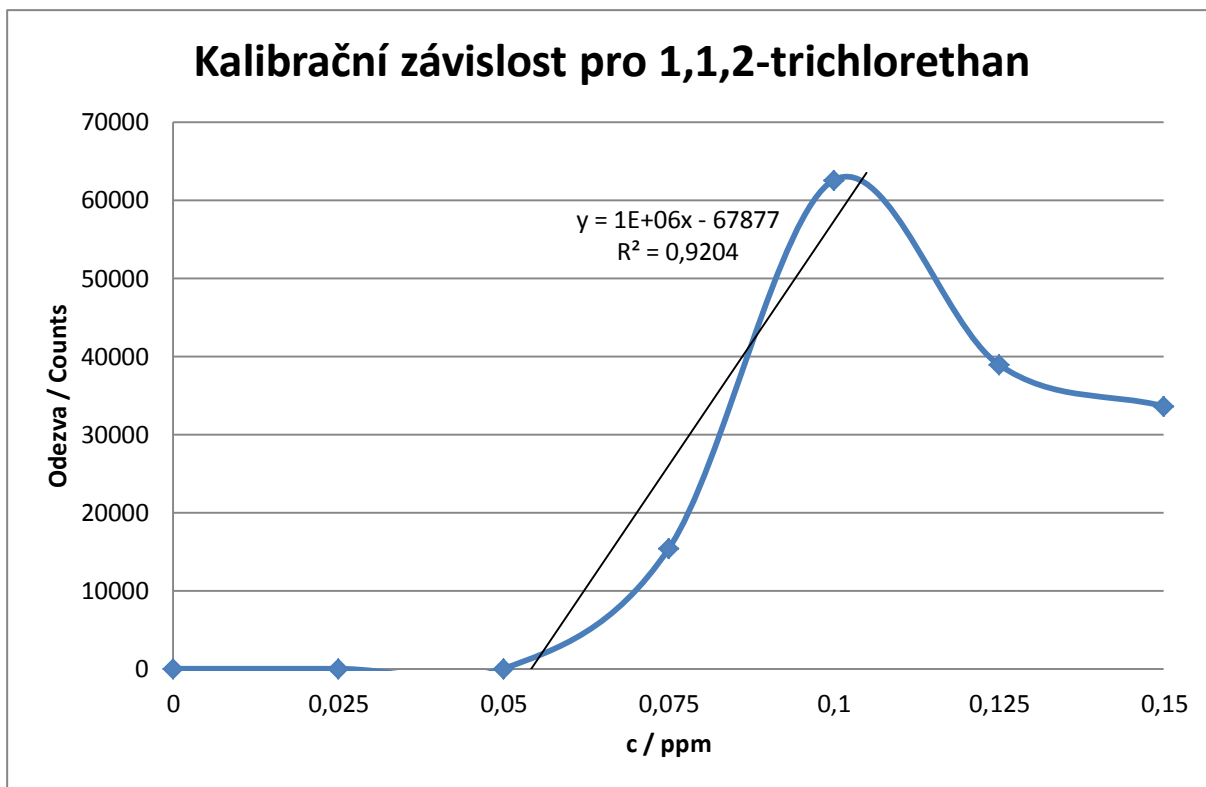
**Příloha 12.** Graf kalibrační závislosti pro trichlorethylen, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



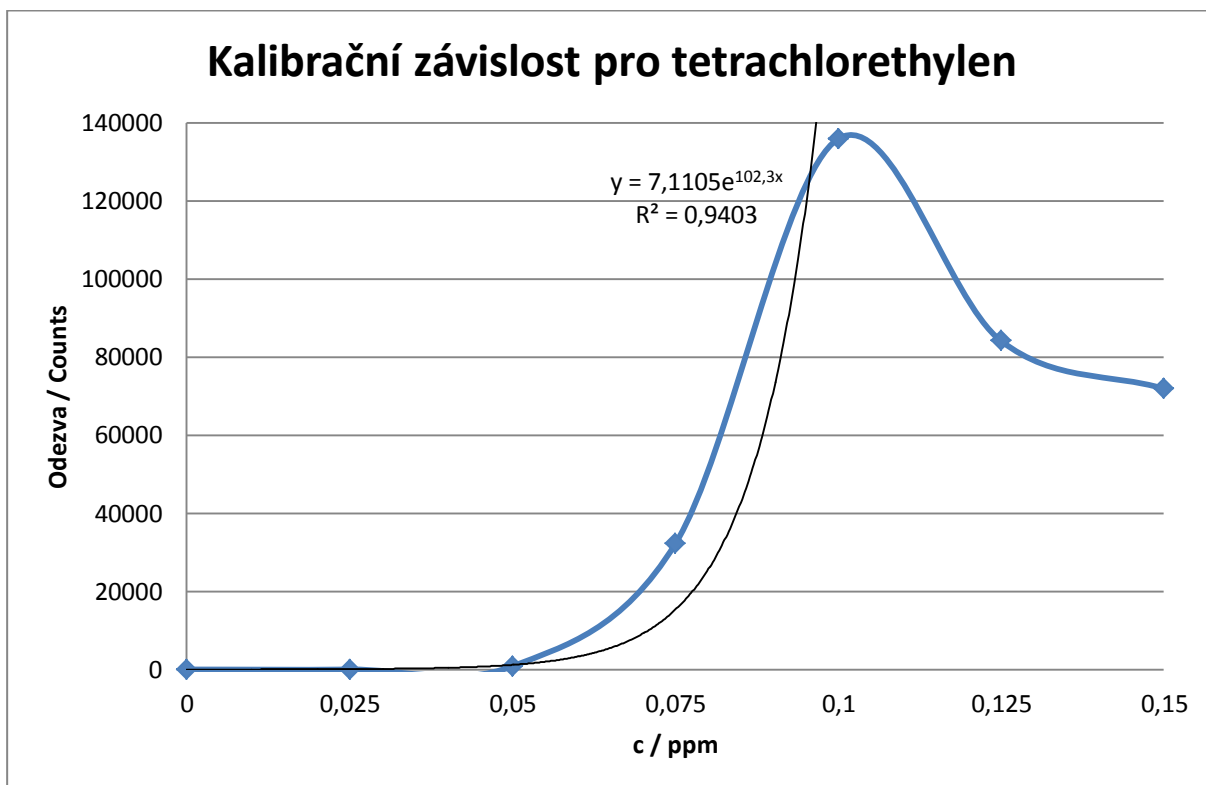
**Příloha 13.** Graf kalibrační závislosti pro bromdichlormethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



**Příloha 14.** Graf kalibrační závislosti pro (E)-1,3-dichlorpropen, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$

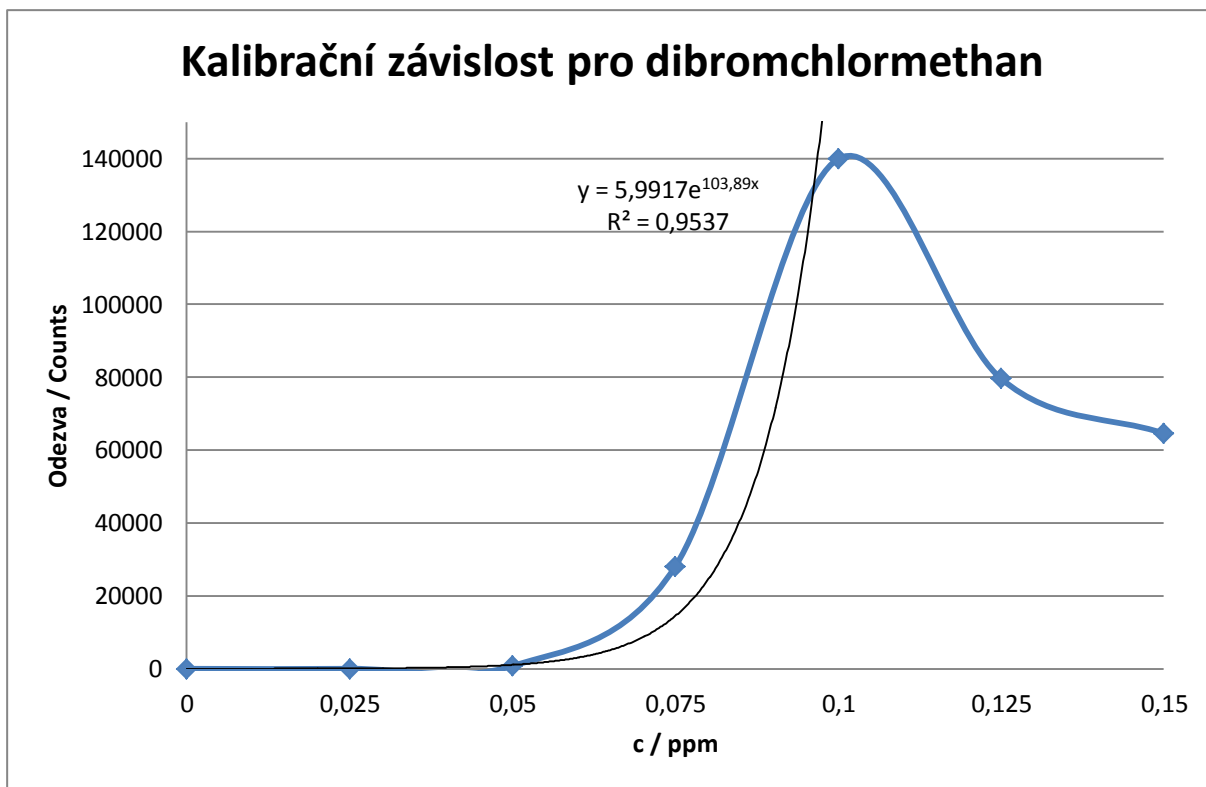


**Příloha 15.** Graf kalibrační závislosti pro 1,1,2-trichlorethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$

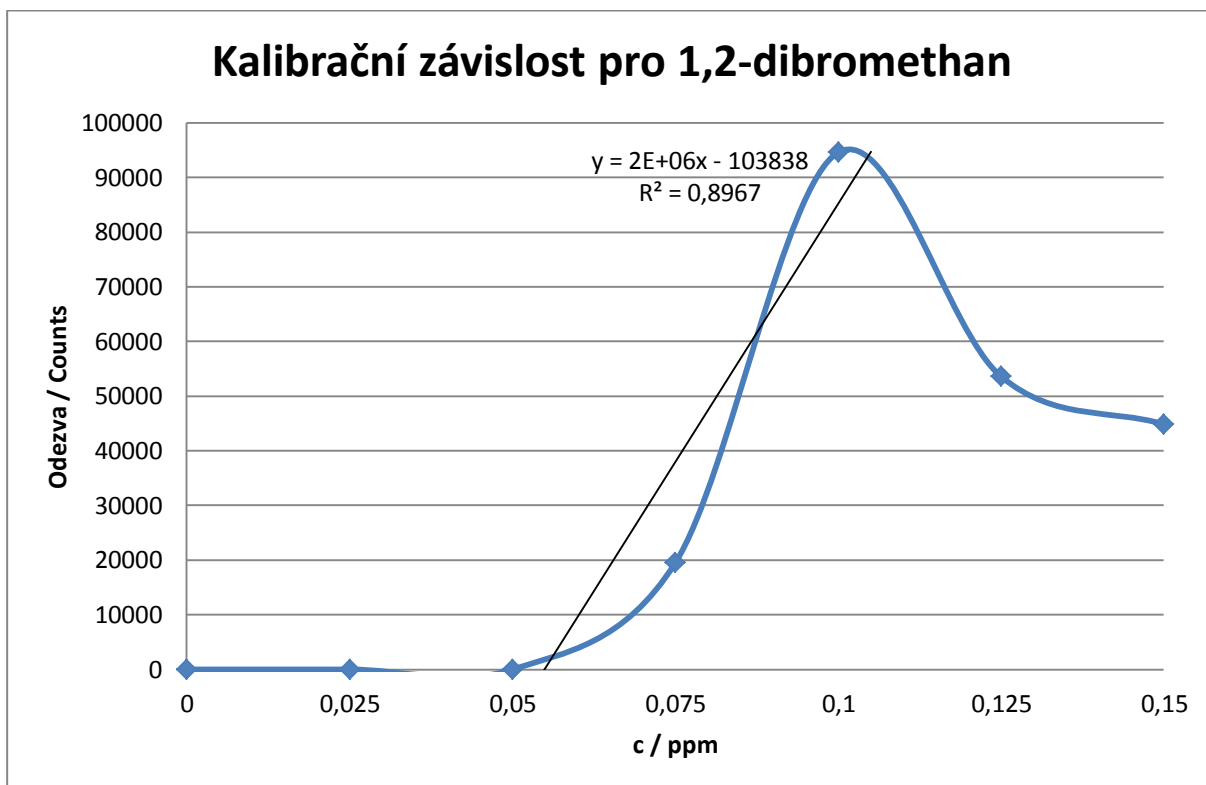


**Příloha 16.** Graf kalibrační závislosti pro 1,1,2-trichlorethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$

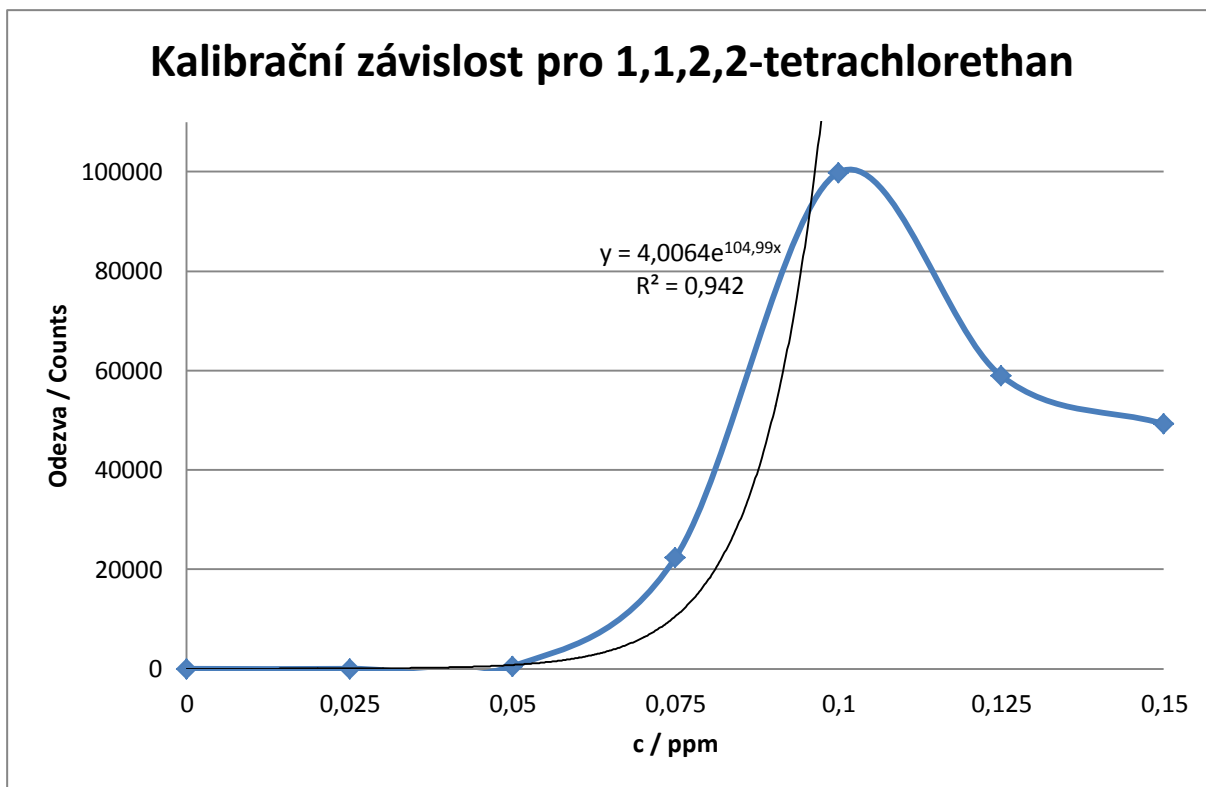




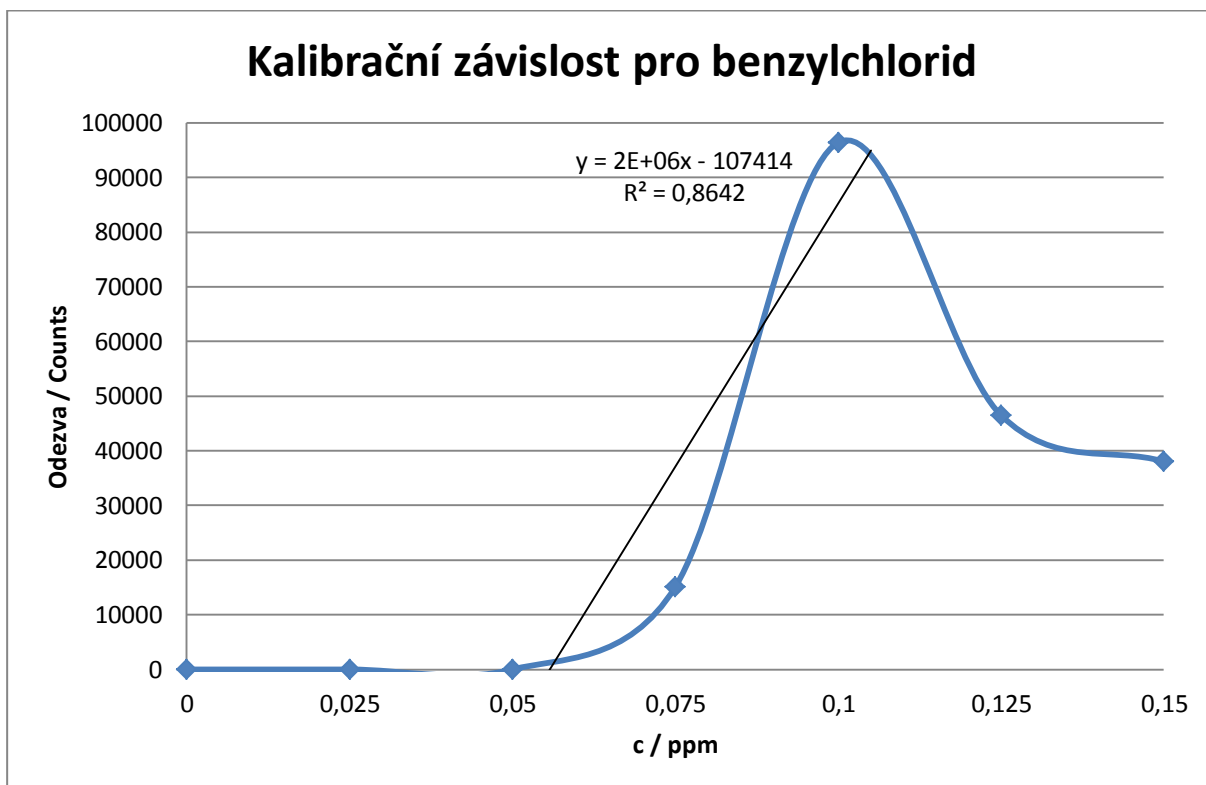
**Příloha 17.** Graf kalibrační závislosti pro dibromchlormethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



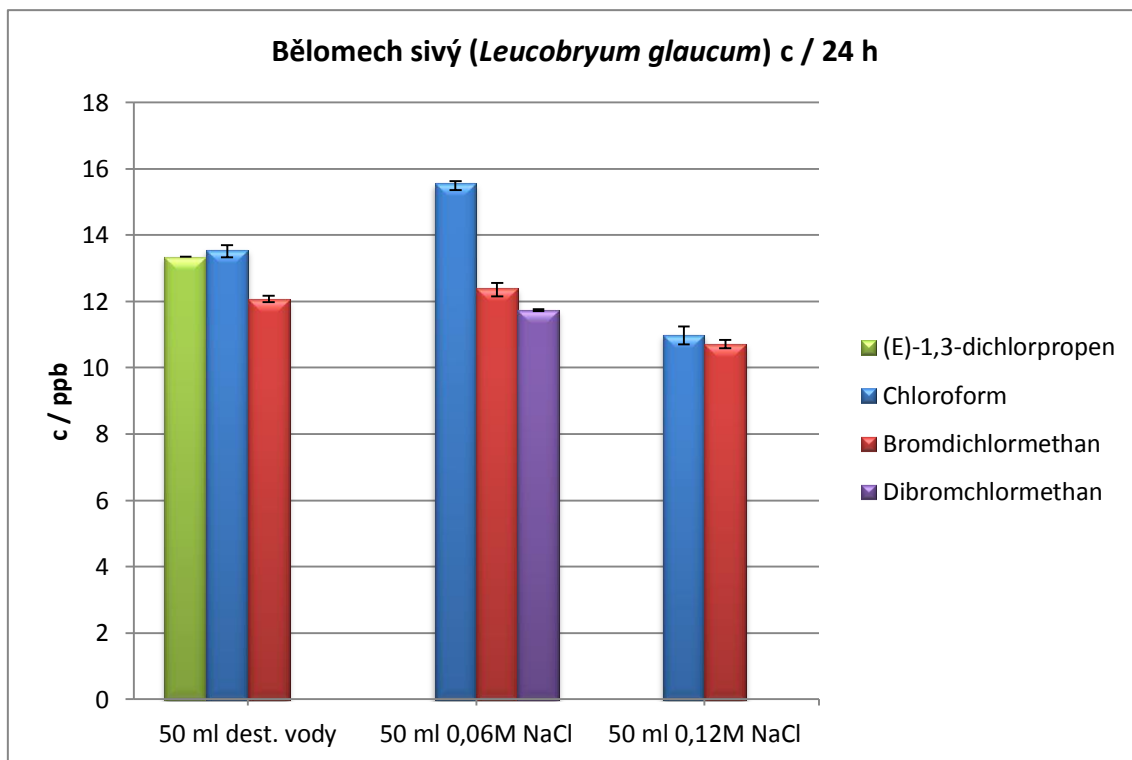
**Příloha 18.** Graf kalibrační závislosti pro 1,2-dibromethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



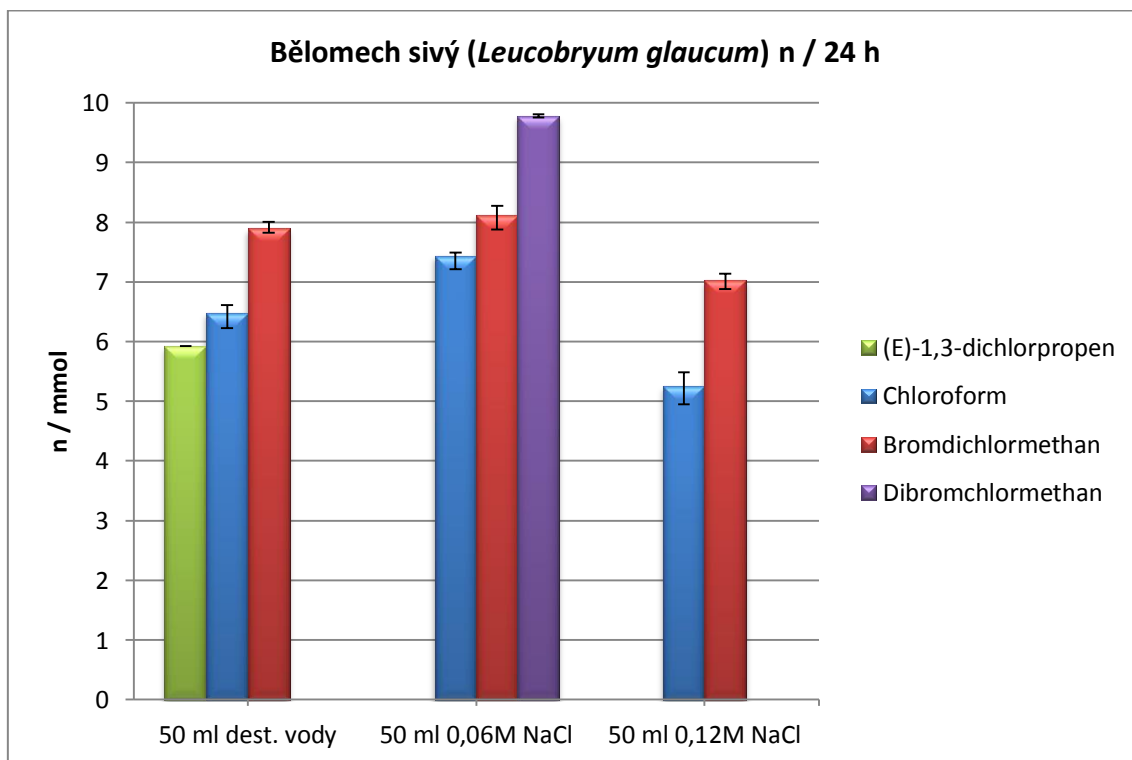
**Příloha 19.** Graf kalibrační závislosti pro 1,1,2,2-tetrachlorethan, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



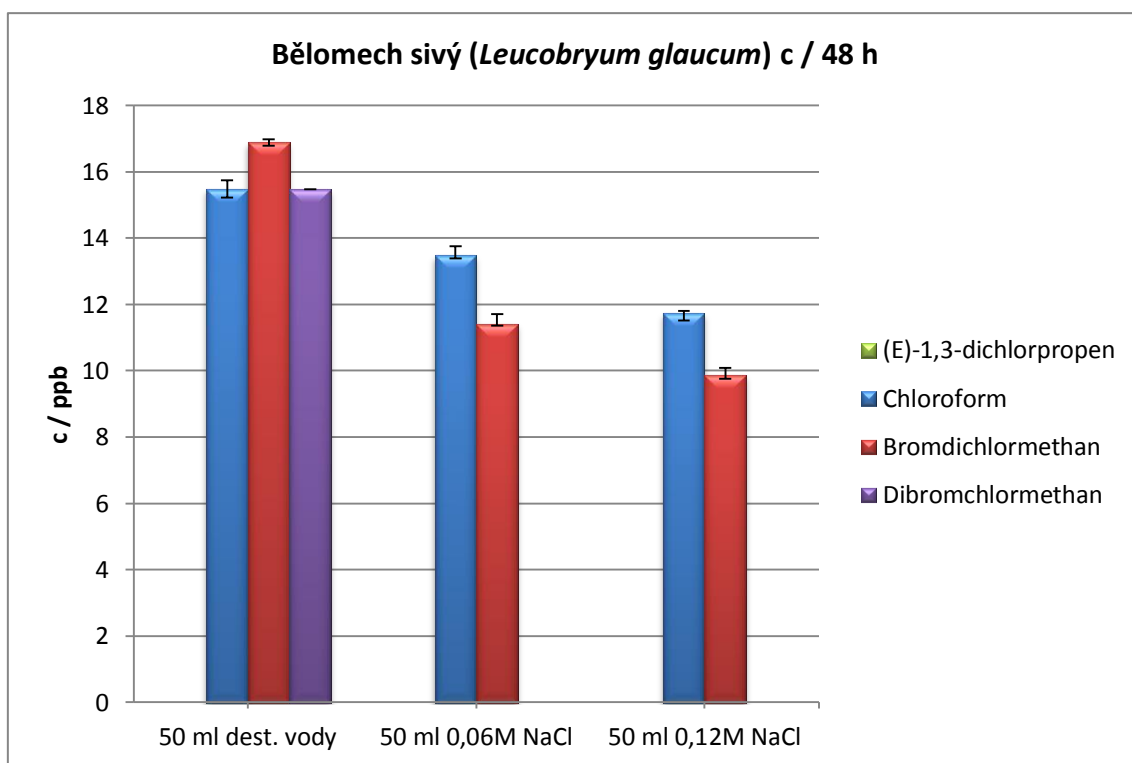
**Příloha 20.** Graf kalibrační závislosti pro benzylchlorid, její rovnice regrese a hodnota spolehlivosti  $R^2$



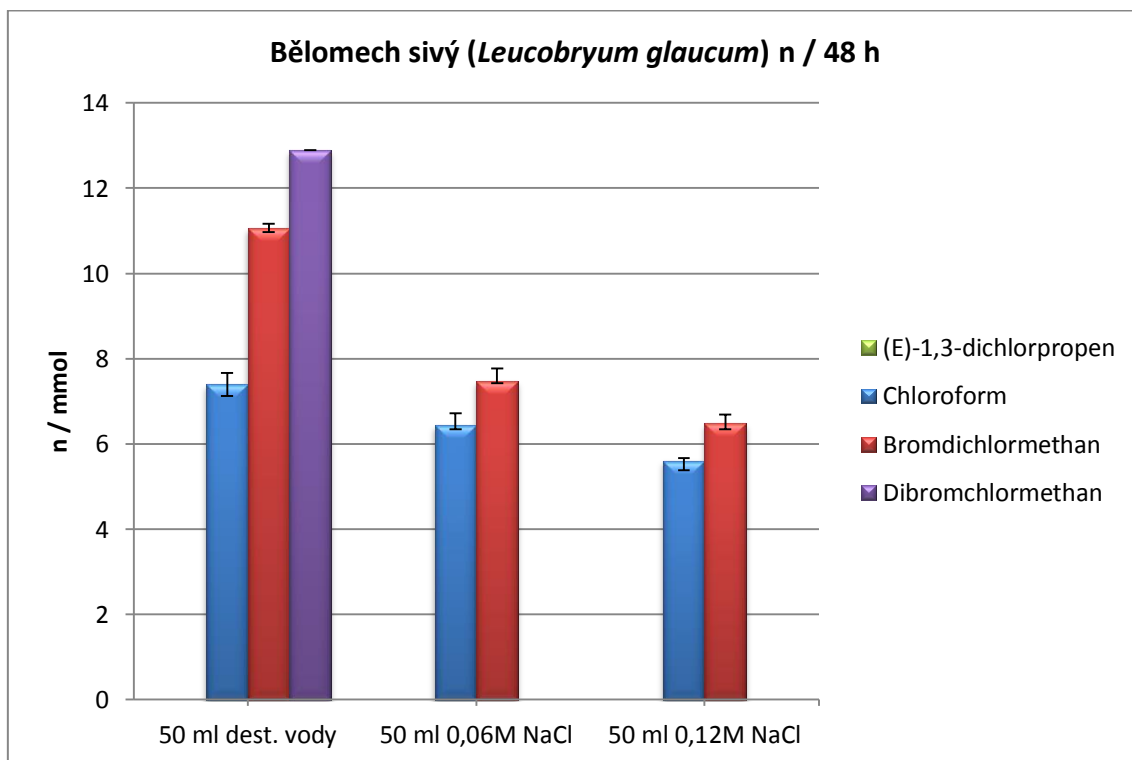
**Příloha 21.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) bělomechu sivého (*Leucobryum glaucum*) v ppb za 24 h



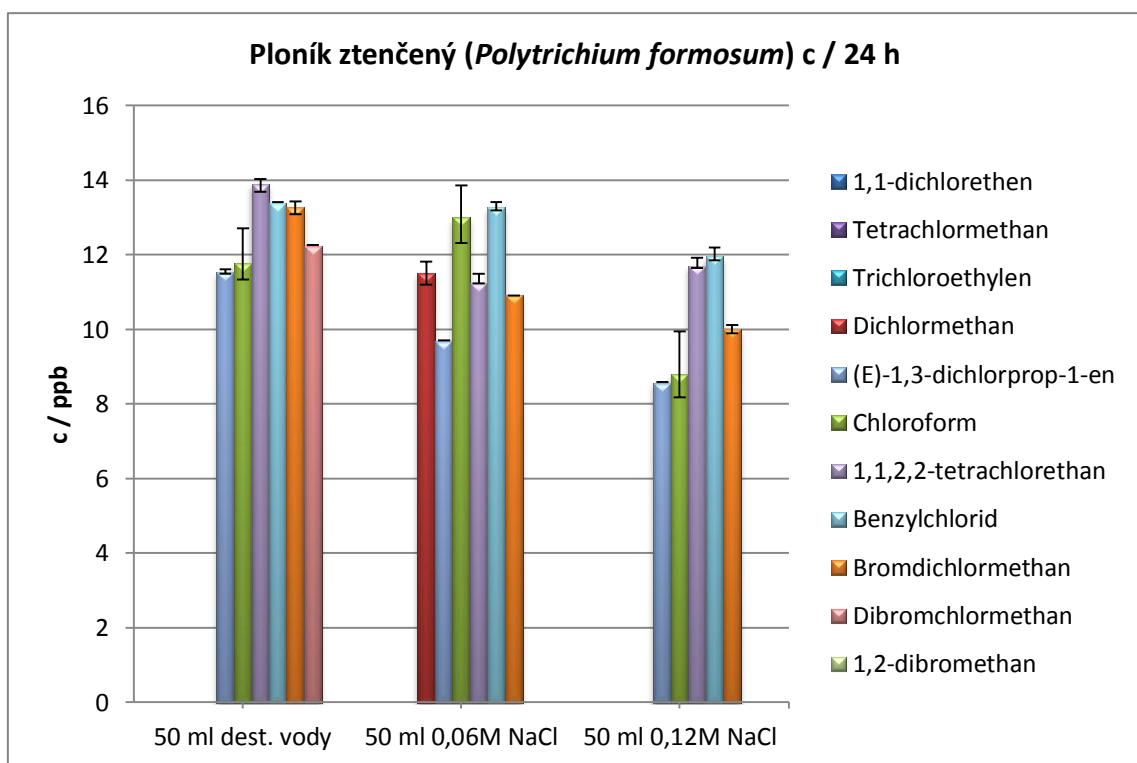
**Příloha 22.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) bělomechu sivého (*Leucobryum glaucum*) v mmol za 24 h



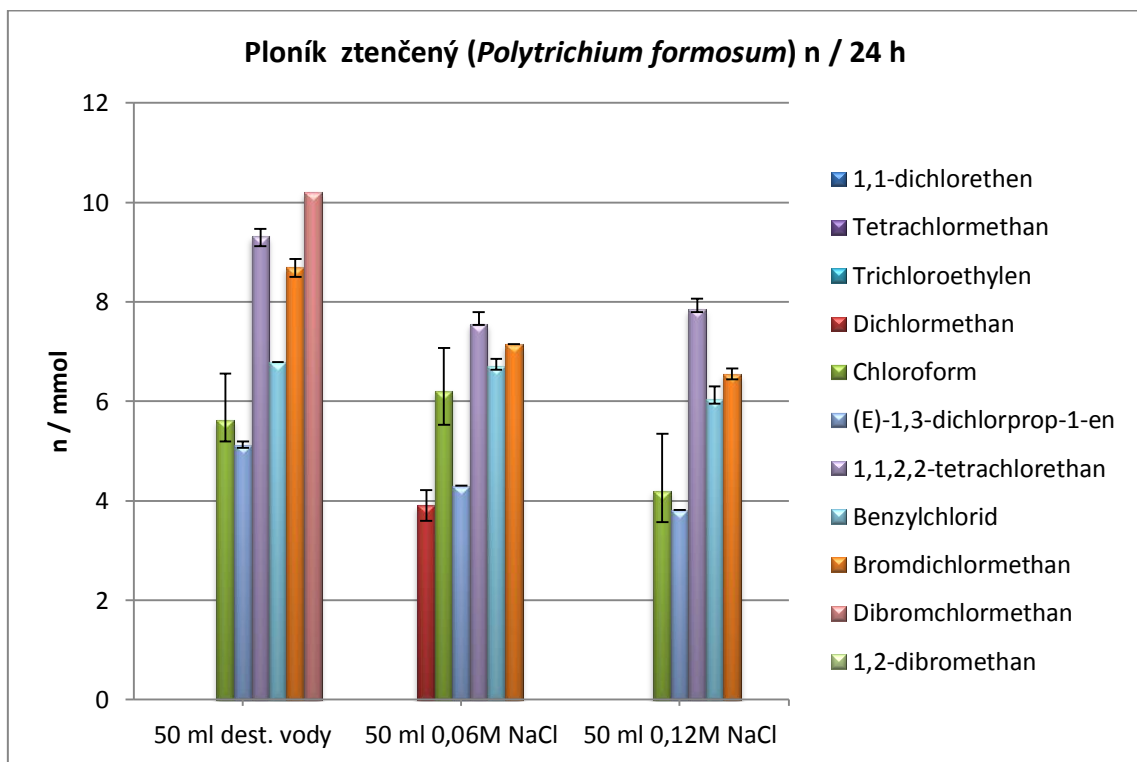
**Příloha 23.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) bělomechu sivého (*Leucobryum glaucum*) v ppb za 48 h



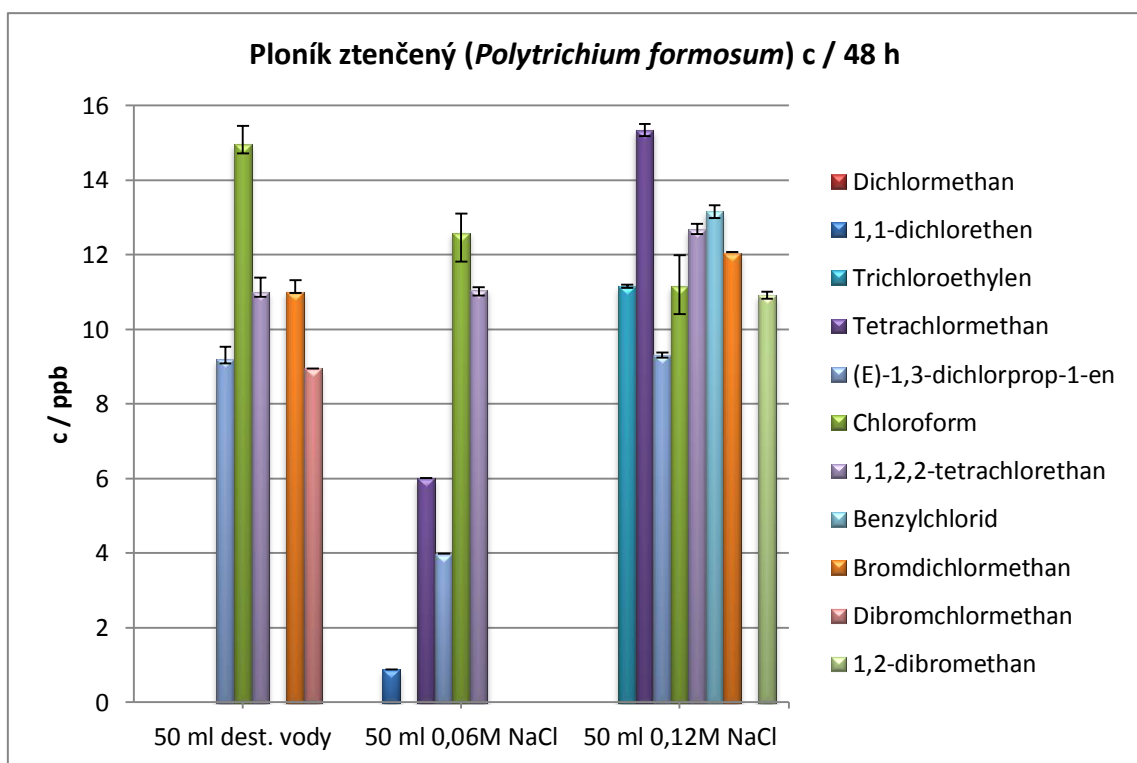
**Příloha 24.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) bělomechu sivého (*Leucobryum glaucum*) v mmol za 48 h



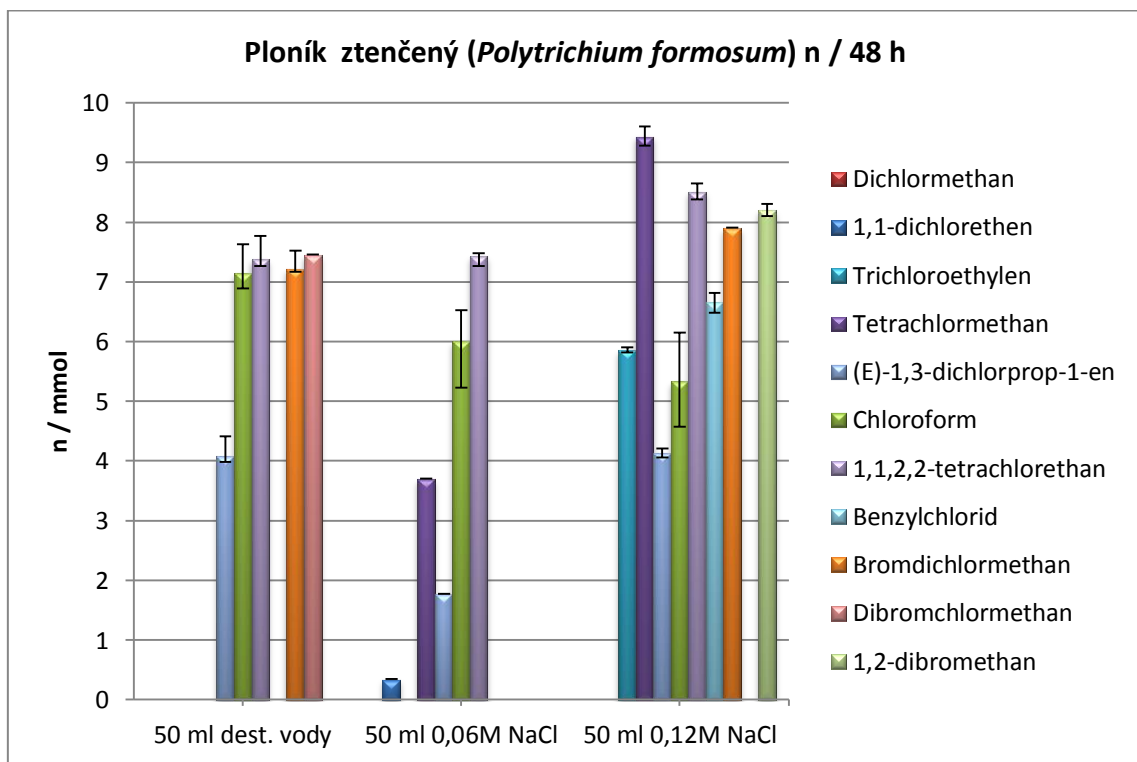
**Příloha 25.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) ploníku ztenčeného (*Polytrichum formosum*) v ppb za 24 h



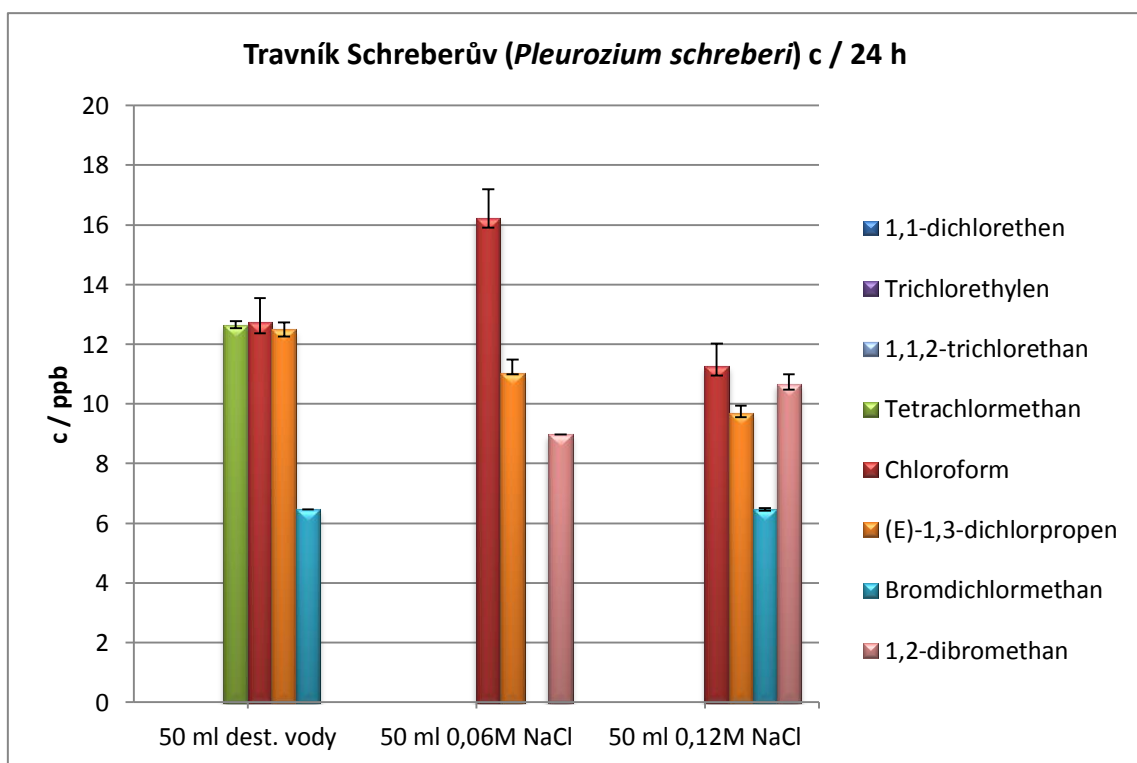
**Příloha 26.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) ploníku ztenčeného (*Polytrichum formosum*) v mmol za 24 h



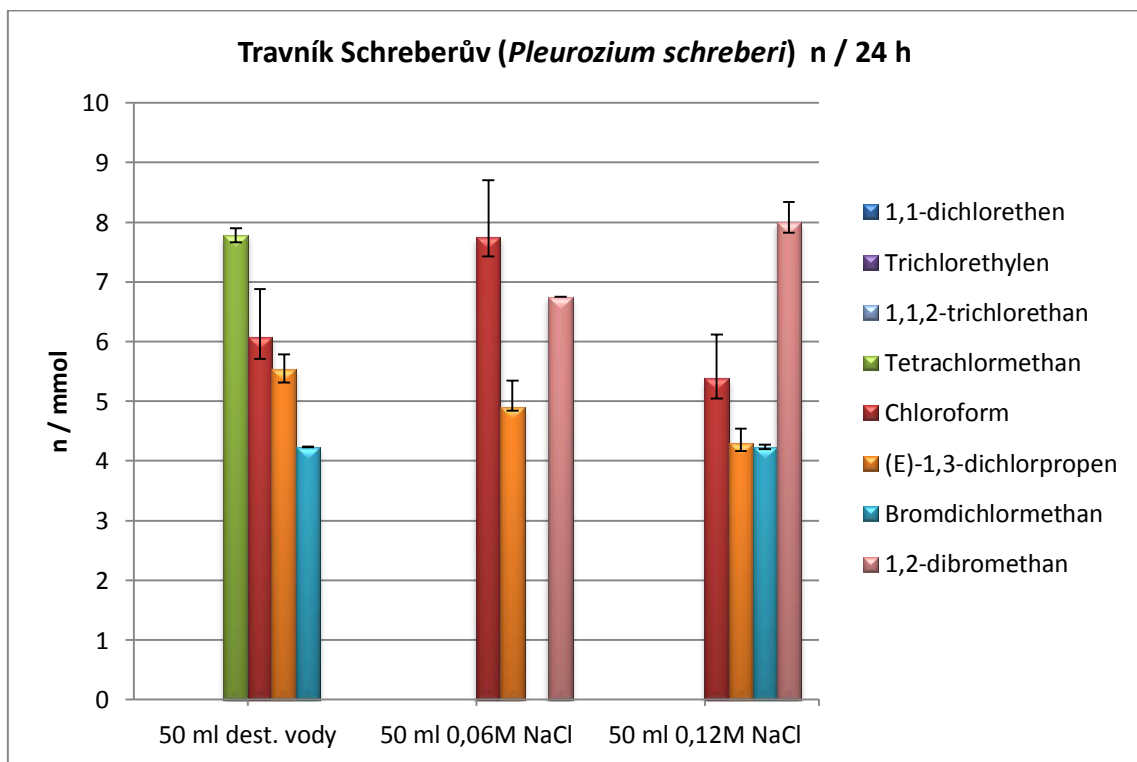
**Příloha 27.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) ploníku ztenčeného (*Polytrichum formosum*) v ppb za 48 h



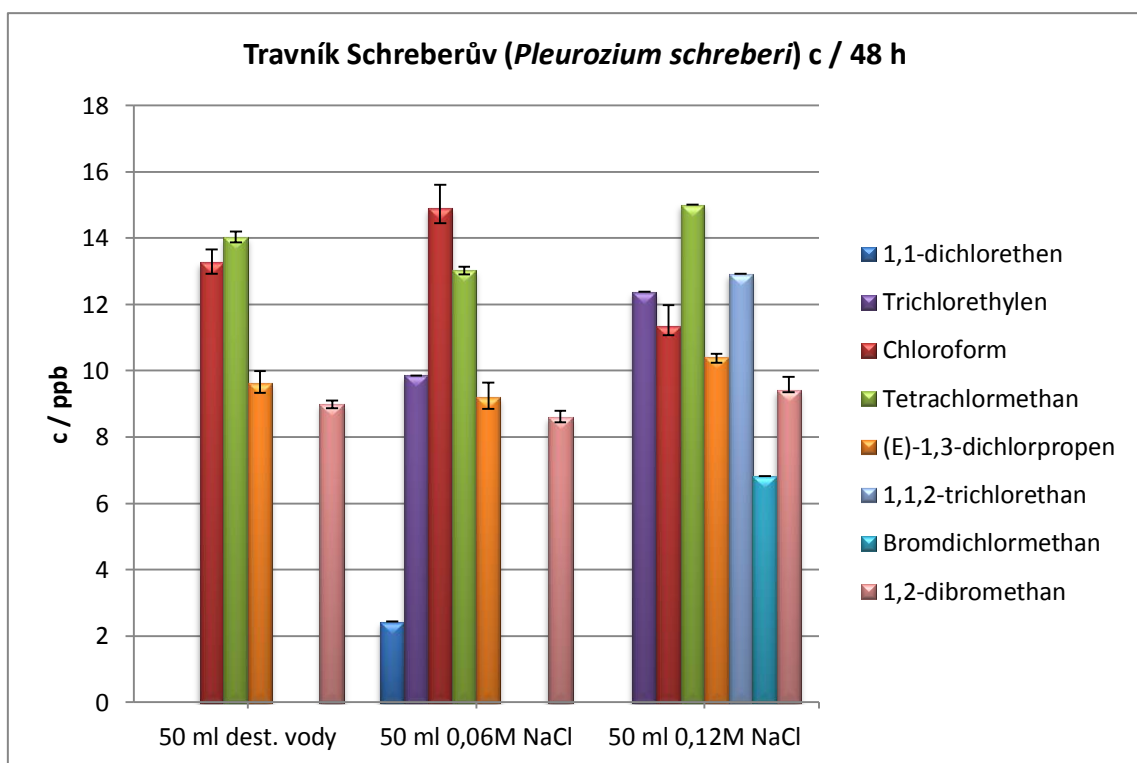
**Příloha 28.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) ploníku ztenčeného (*Polytrichum formosum*) v mmol za 48 h



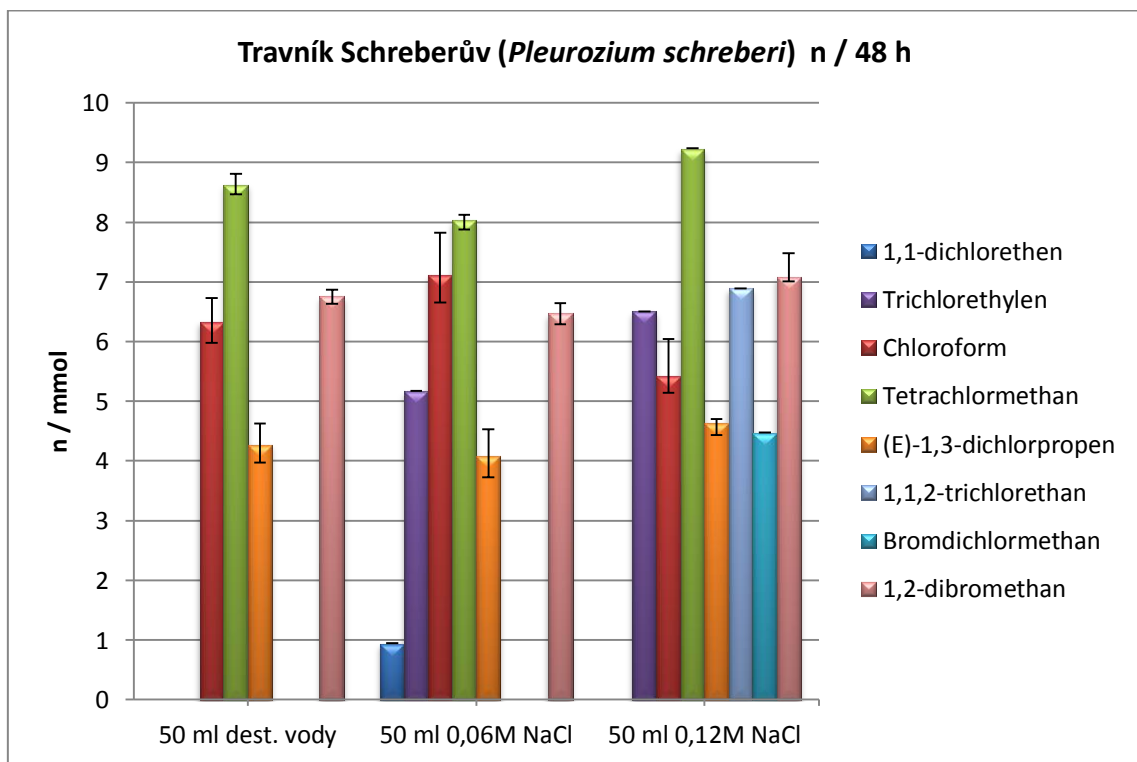
**Příloha 29.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) travníku Schreberova (*Pleurozium schreberi*) v ppb za 24 h



**Příloha 30.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) travníku Schreberova (*Pleurozium schreberi*) v mmol za 24 h

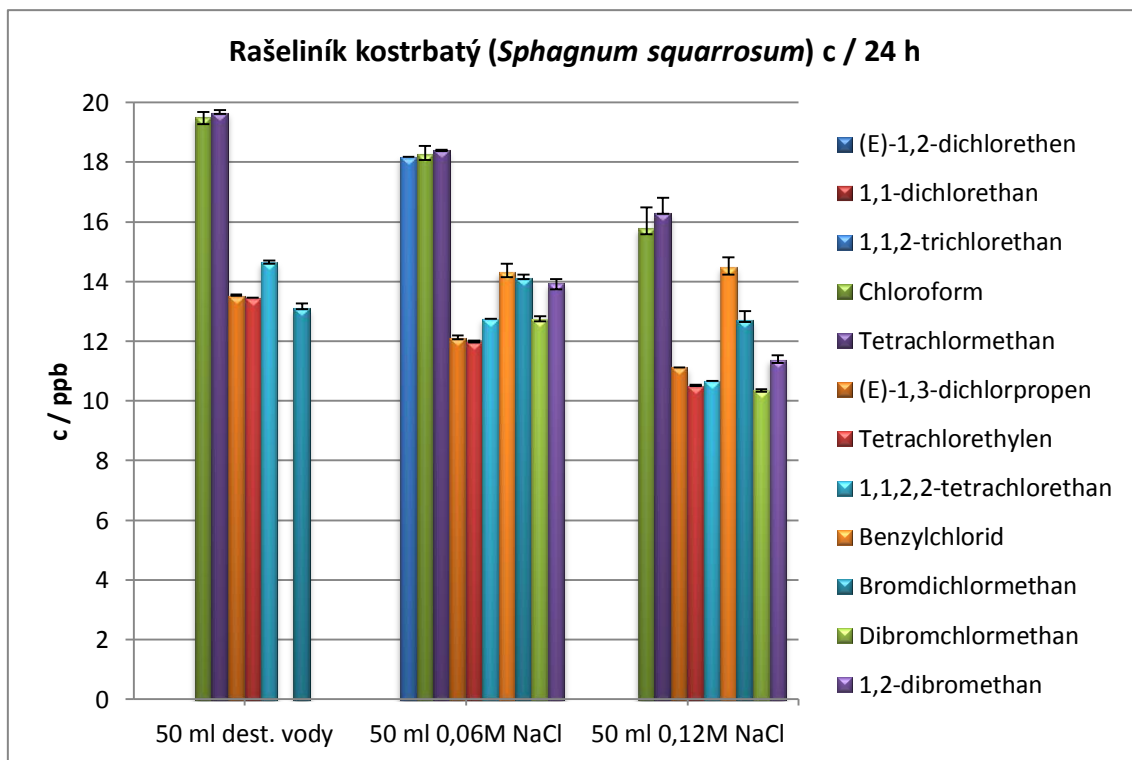


**Příloha 31.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) travníku Schreberova (*Pleurozium schreberi*) v ppb za 48 h

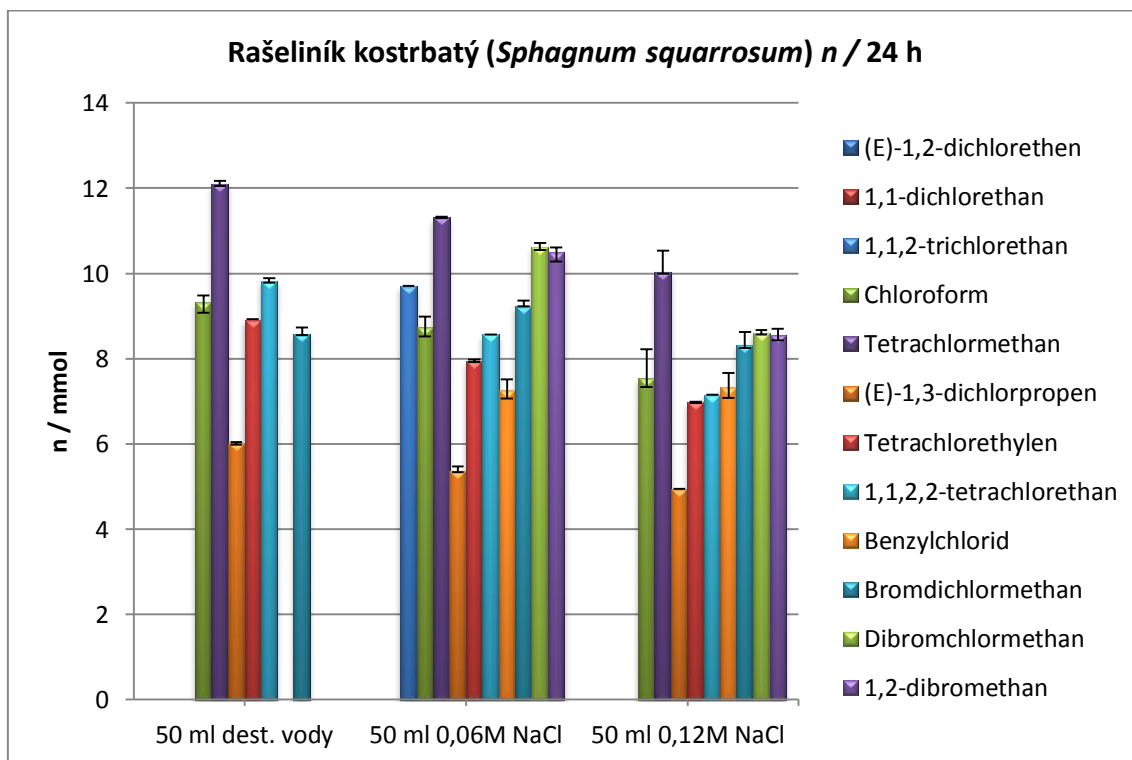


**Příloha 32.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) travníku Schreberova (*Pleurozium schreberi*) v mmol za 48 h

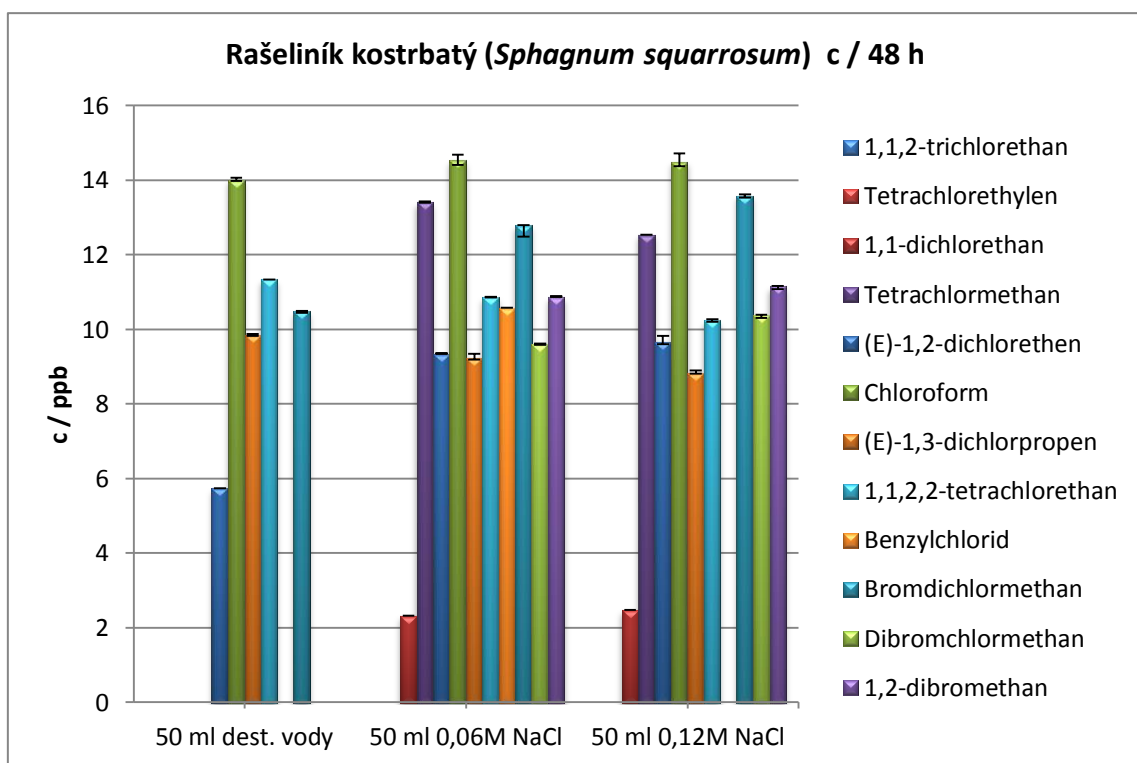




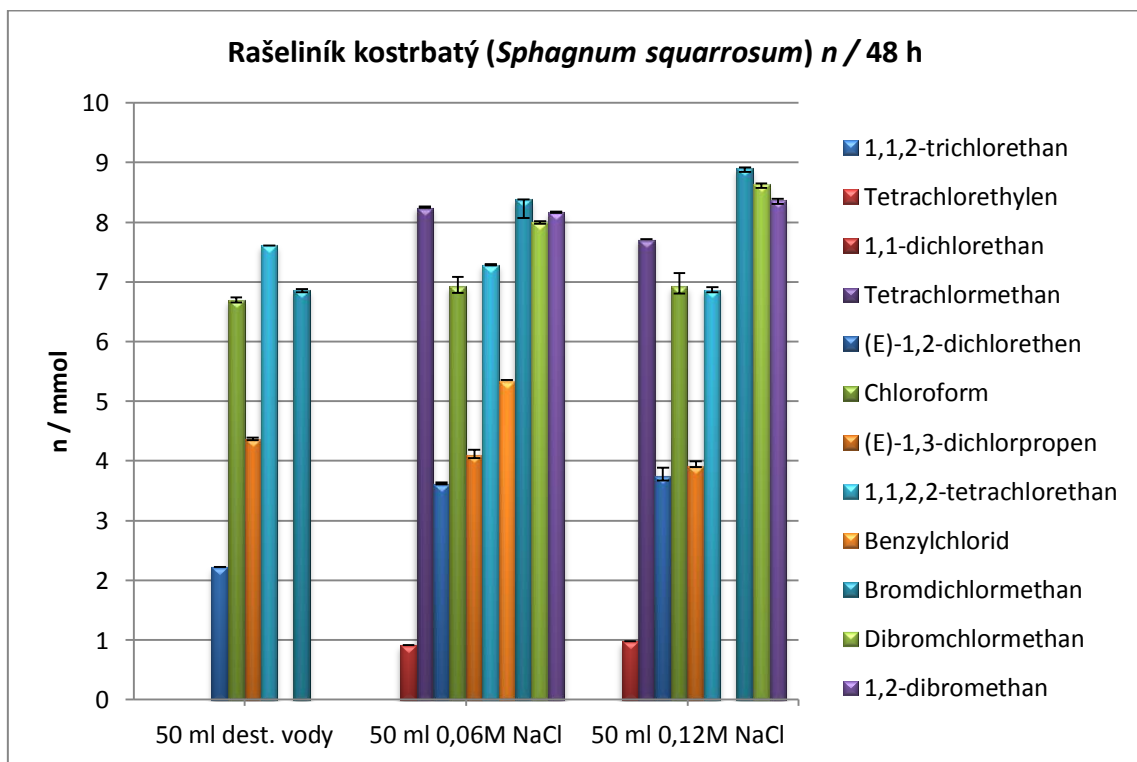
**Příloha 33.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) rašeliníku kostřbatého (*Sphagnum squarrosum*) v ppb za 24 h



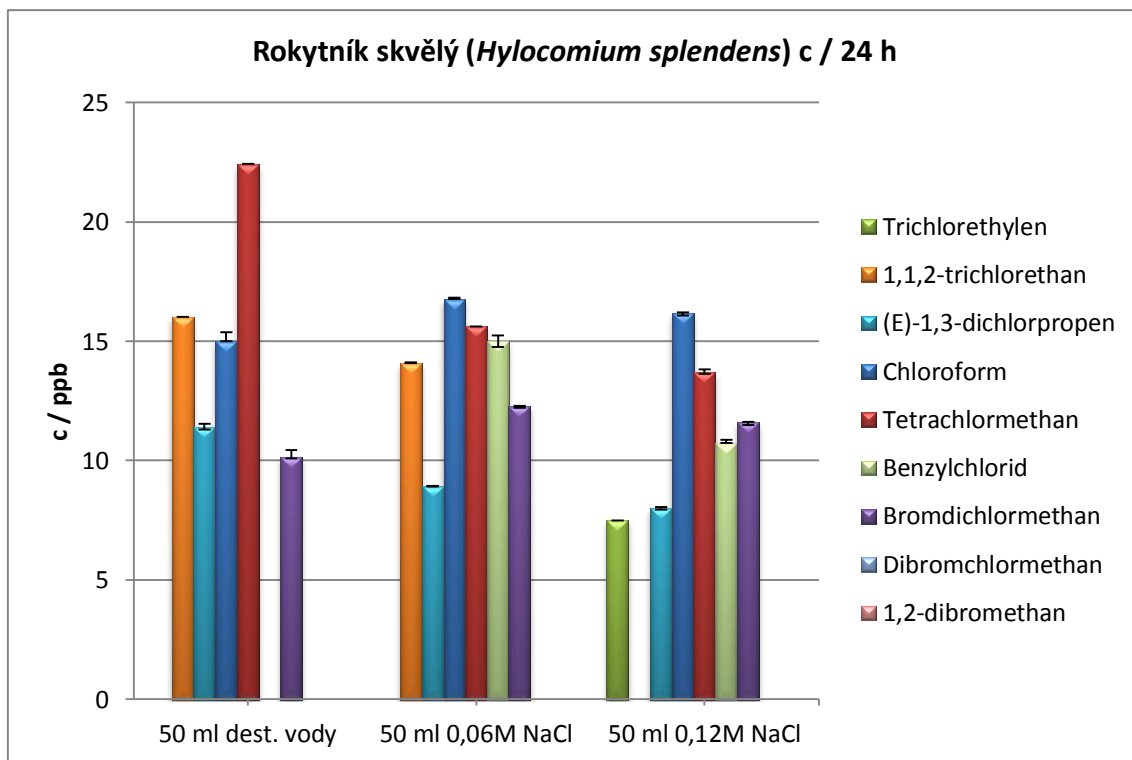
**Příloha 34.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) rašeliníku kostřbatého (*Sphagnum squarrosum*) v mmol za 24 h



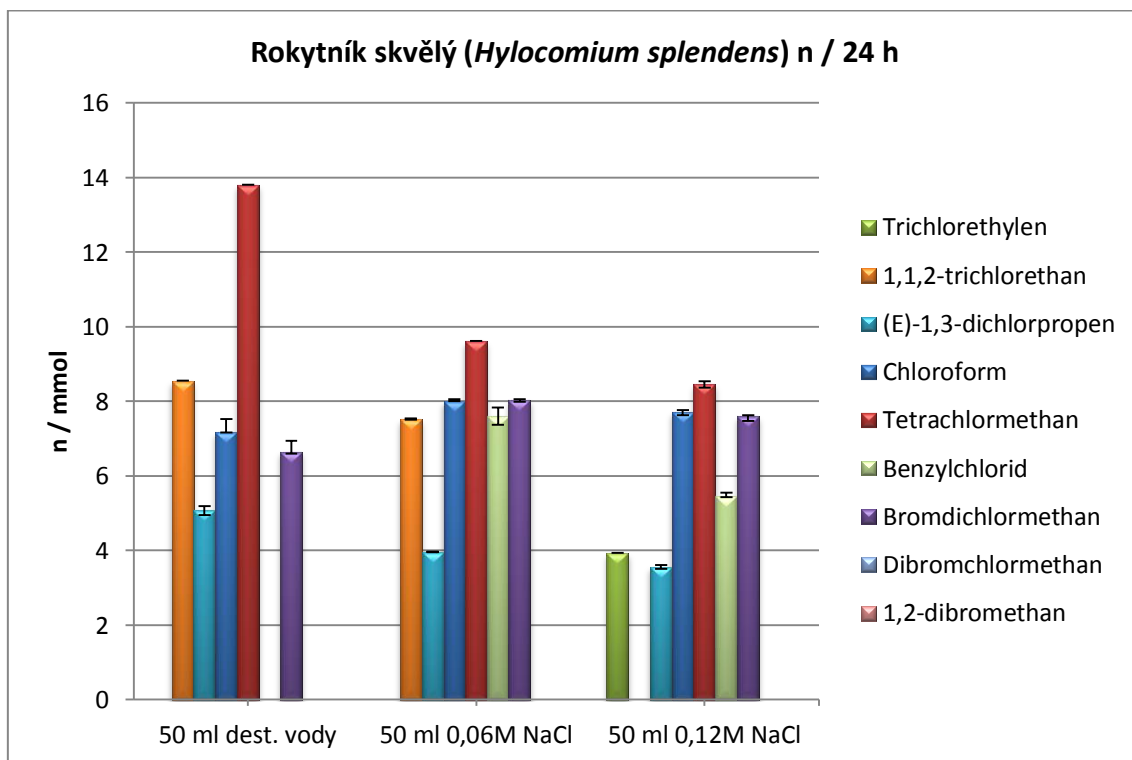
**Příloha 35.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) rašeliníku kostrbatého (*Sphagnum squarrosum*) v ppb za 48 h



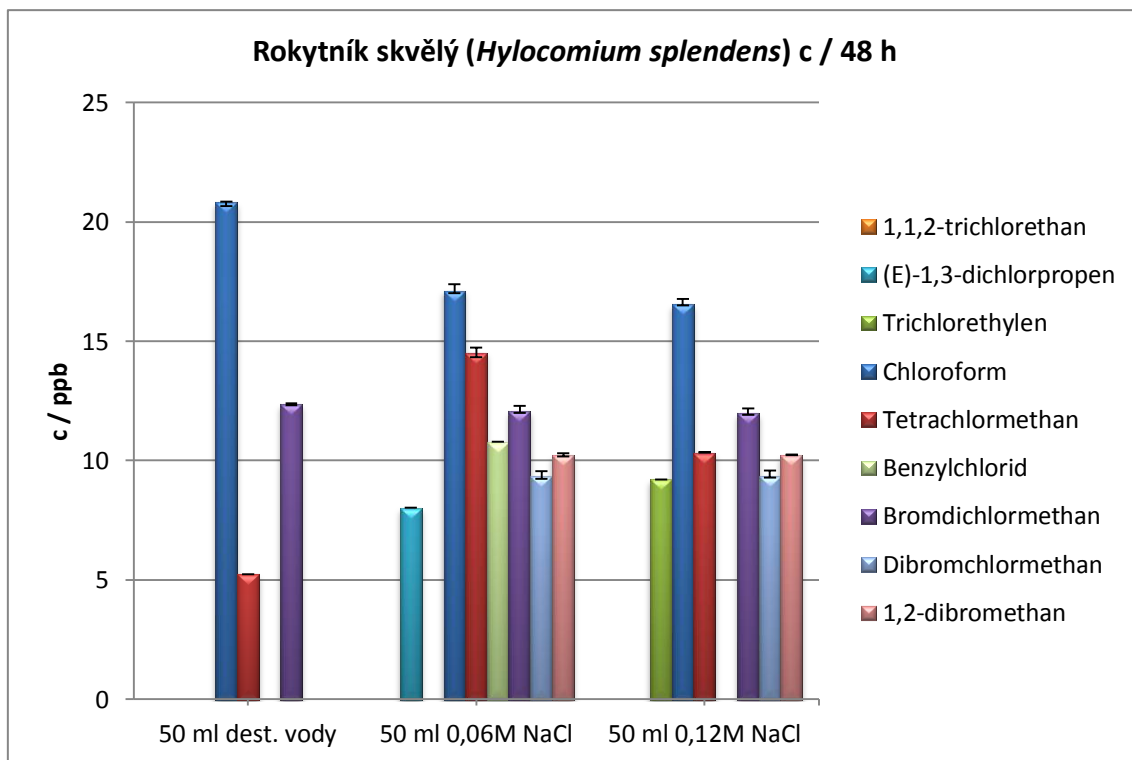
**Příloha 36.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) rašeliníku kostrbatého (*Sphagnum squarrosum*) v mmol za 48 h



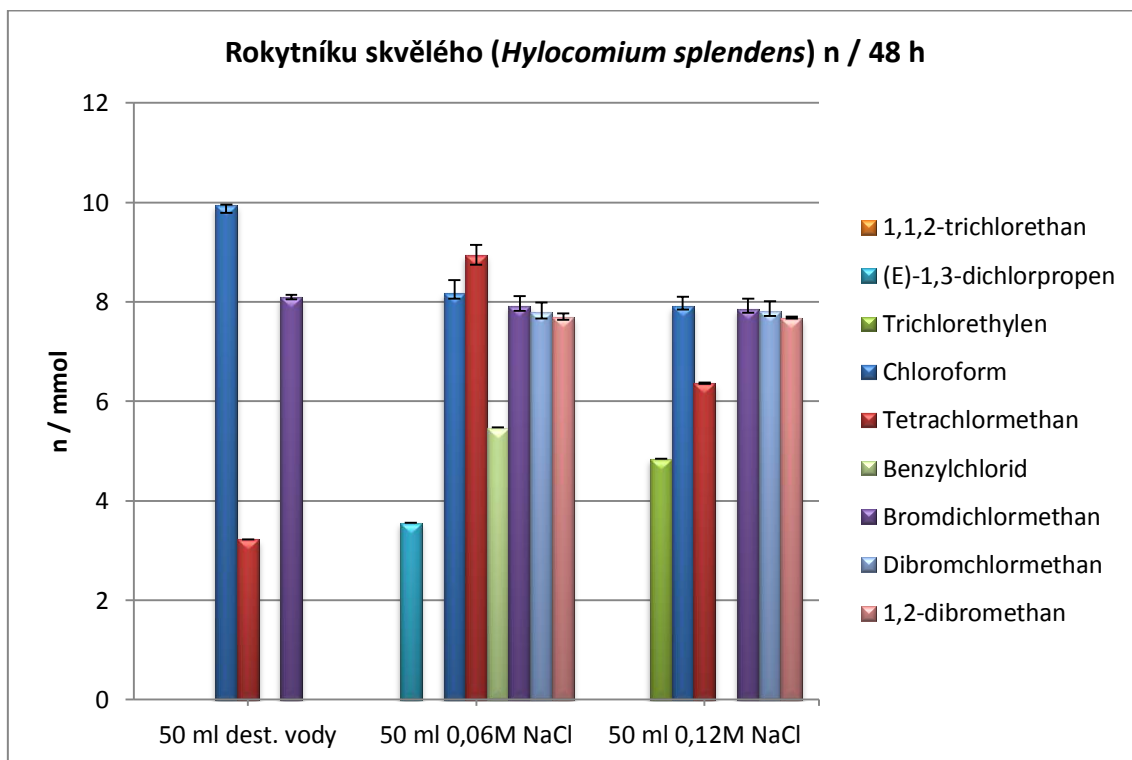
**Příloha 37.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) rokytníku skvělého (*Hylocomium splendens*) v ppb za 24 h



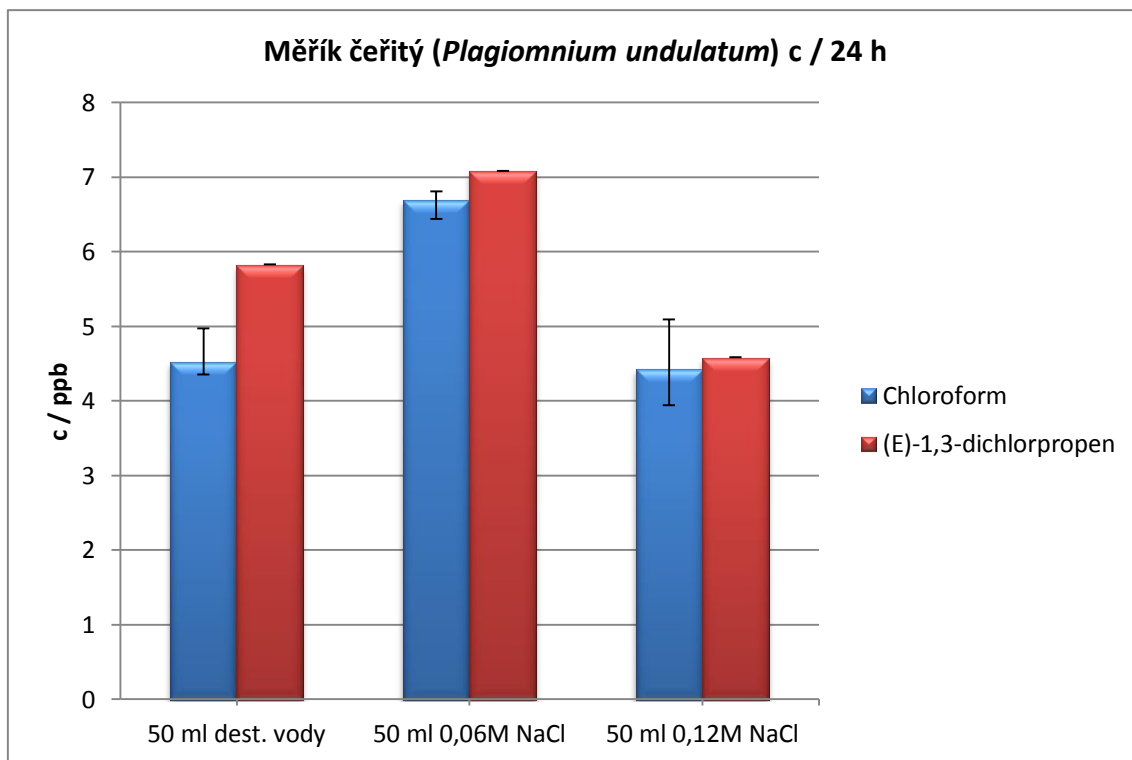
**Příloha 38.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) rokytníku skvělého (*Hylocomium splendens*) v mmol za 24 h



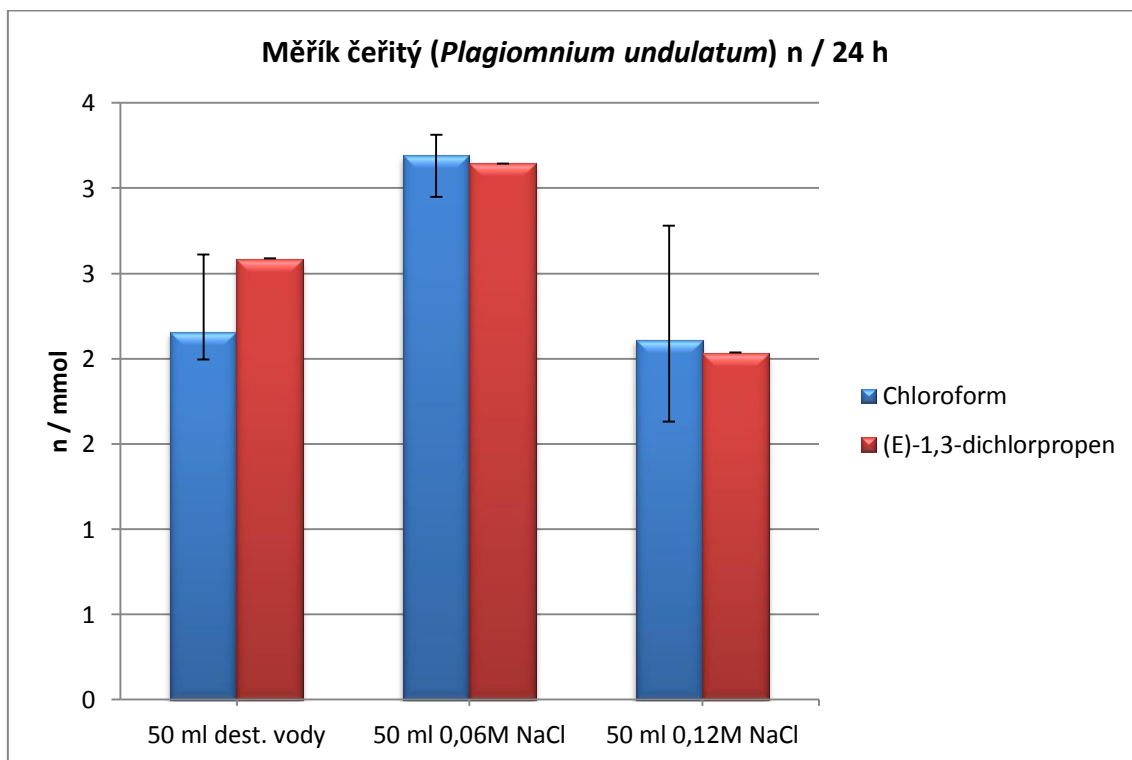
**Příloha 39.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) rokytníku skvělého (*Hylocomium splendens*) v ppb za 48 h



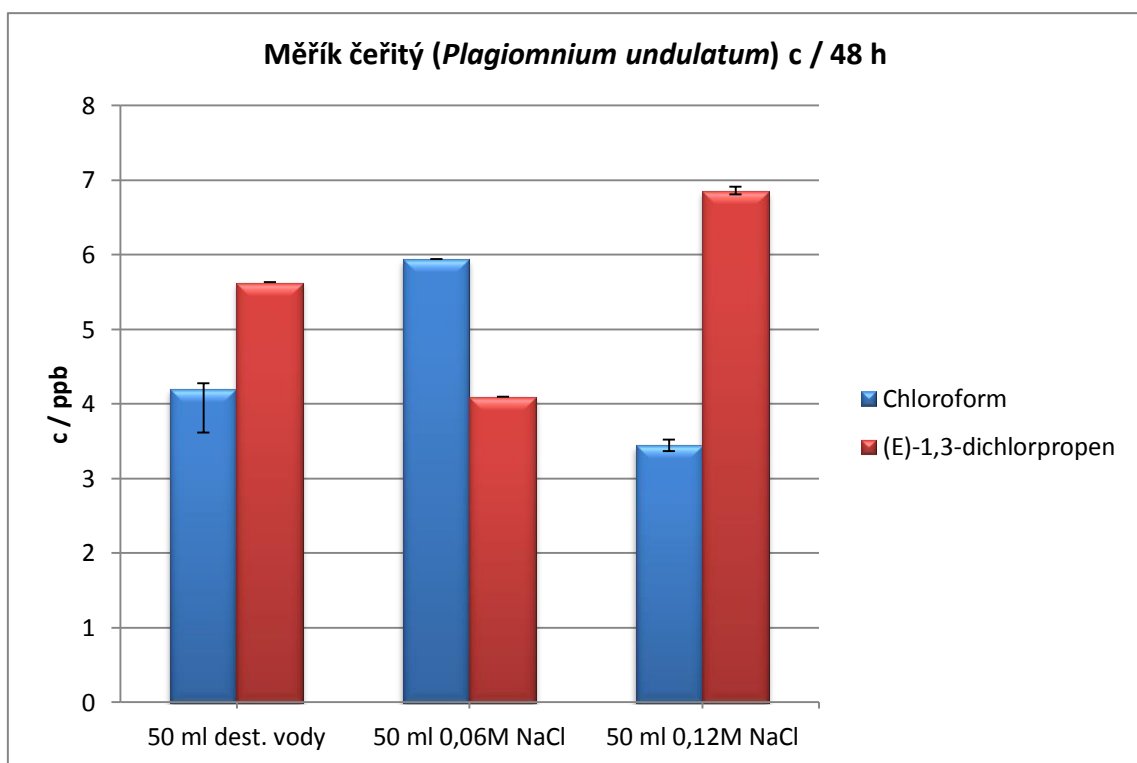
**Příloha 40.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) rokytníku skvělého (*Hylocomium splendens*) v mmol za 48 h



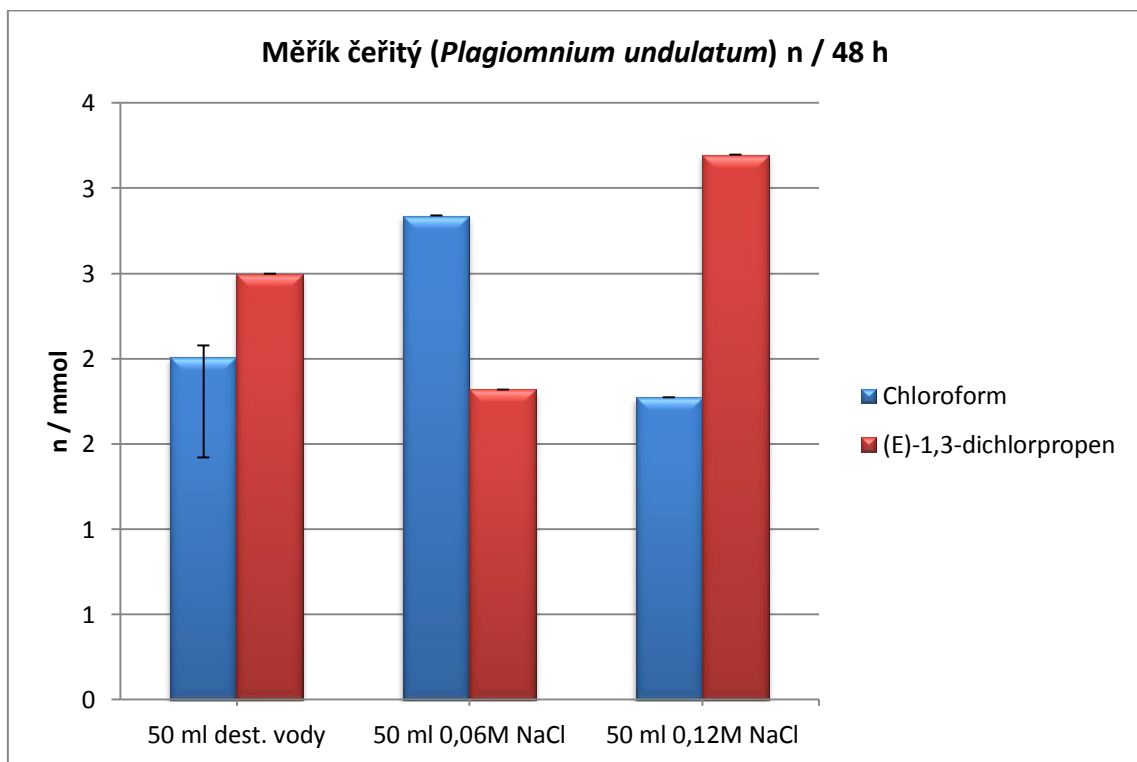
**Příloha 41.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) měřiku čeřitého (*Plagiomnium undulatum*) v ppb za 24 h



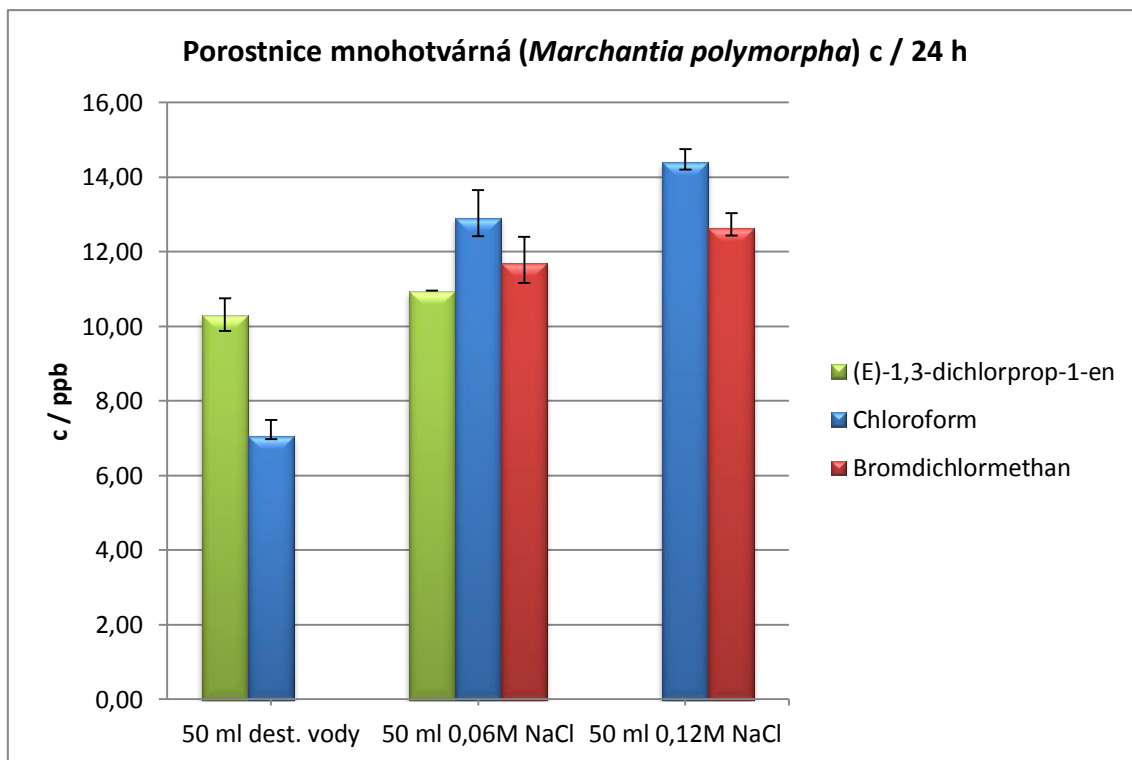
**Příloha 42.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) měřiku čeřitého (*Plagiomnium undulatum*) v mmol za 24 h



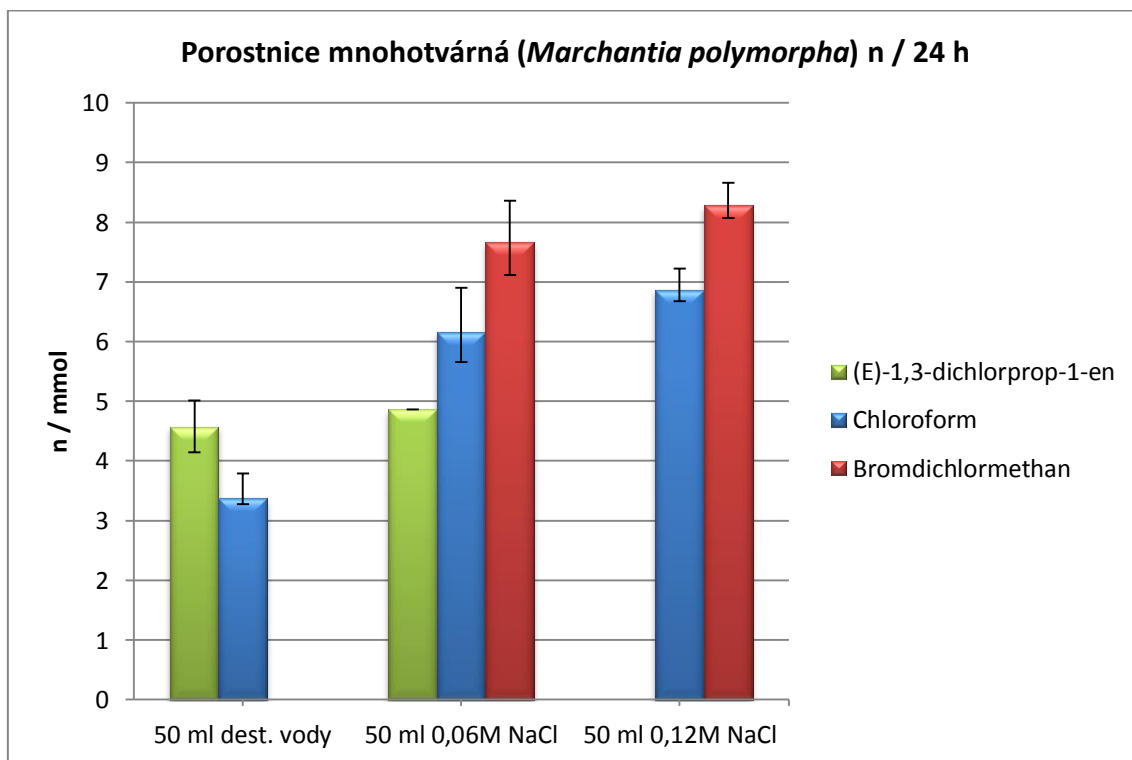
**Příloha 43.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) měřiku čeřitého (*Plagiomnium undulatum*) v ppb za 48 h



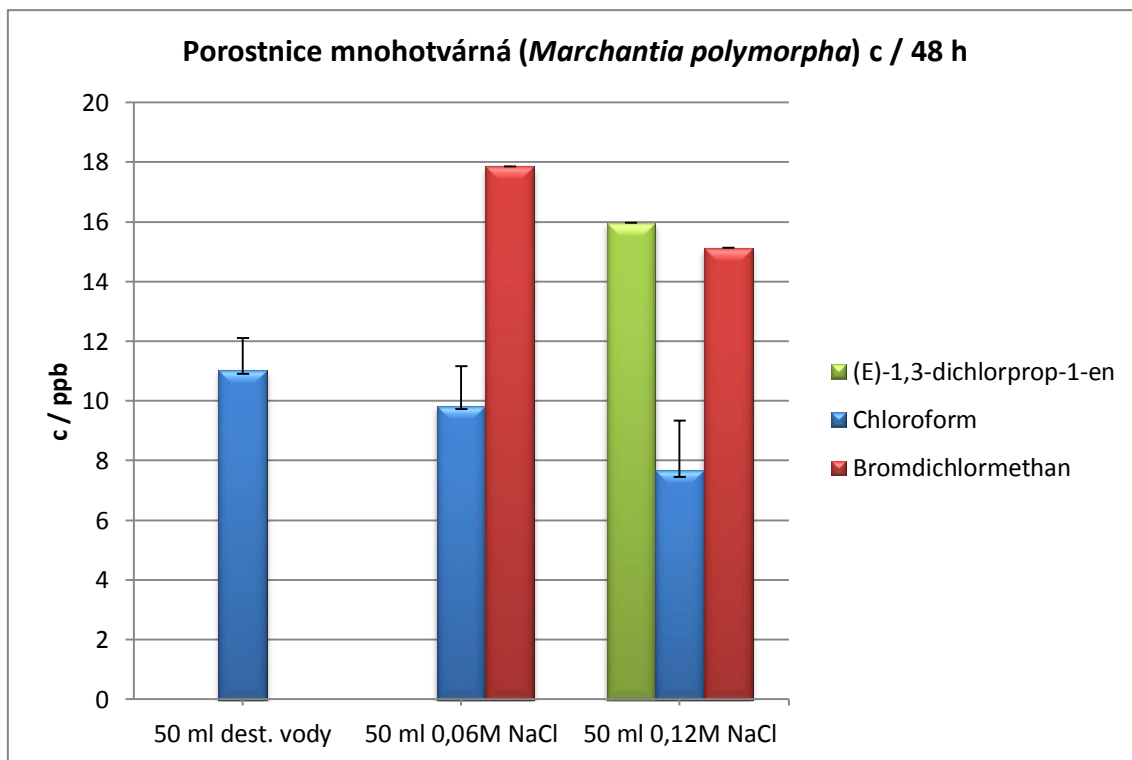
**Příloha 44.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) měřiku čeřitého (*Plagiomnium undulatum*) v mmol za 48 h



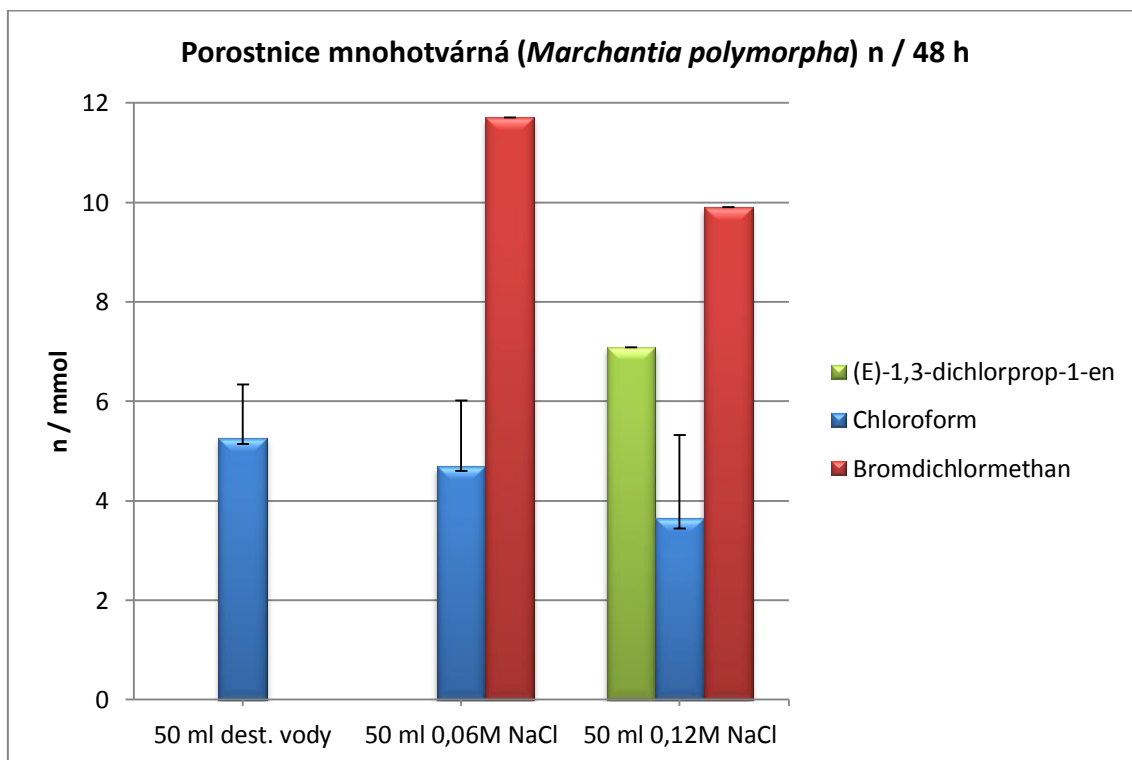
**Příloha 45.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) porostnice mnohotvárné (*Marchantia polymorpha*) v ppb za 24 h



**Příloha 46.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) porostnice mnohotvárné (*Marchantia polymorpha*) v mmol za 24 h

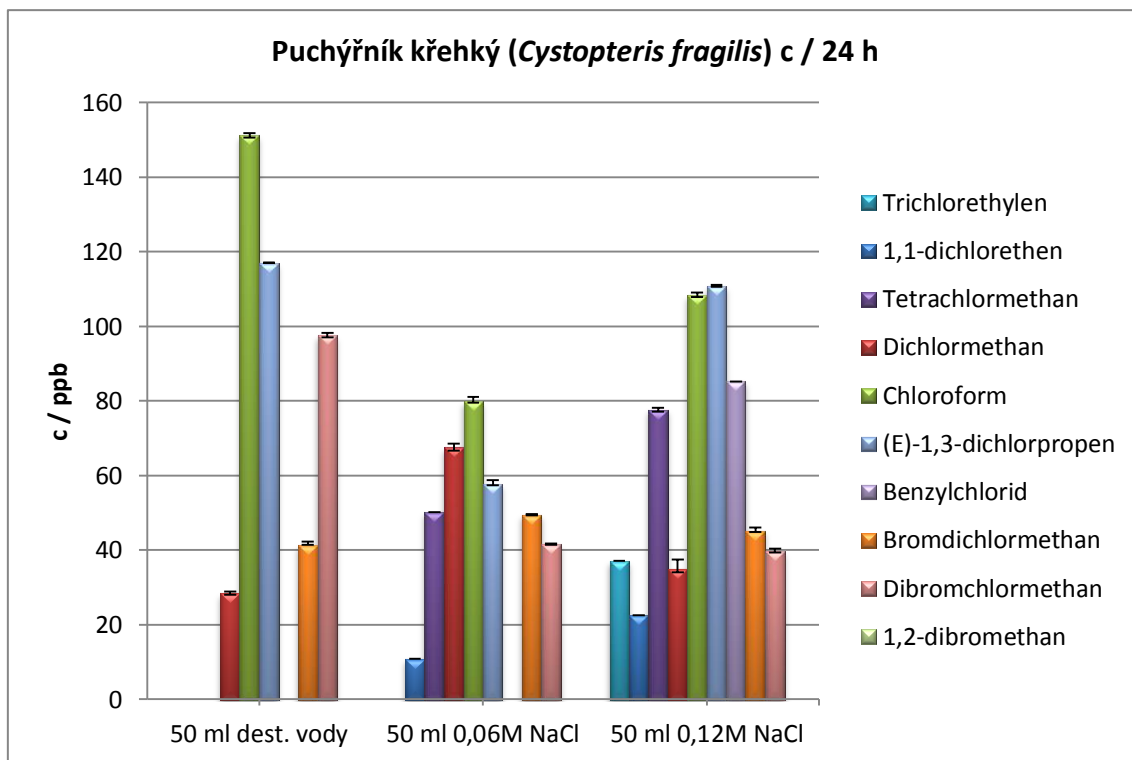


**Příloha 47.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) porostnice mnohotvárné (*Marchantia polymorpha*) v ppb za 48 h

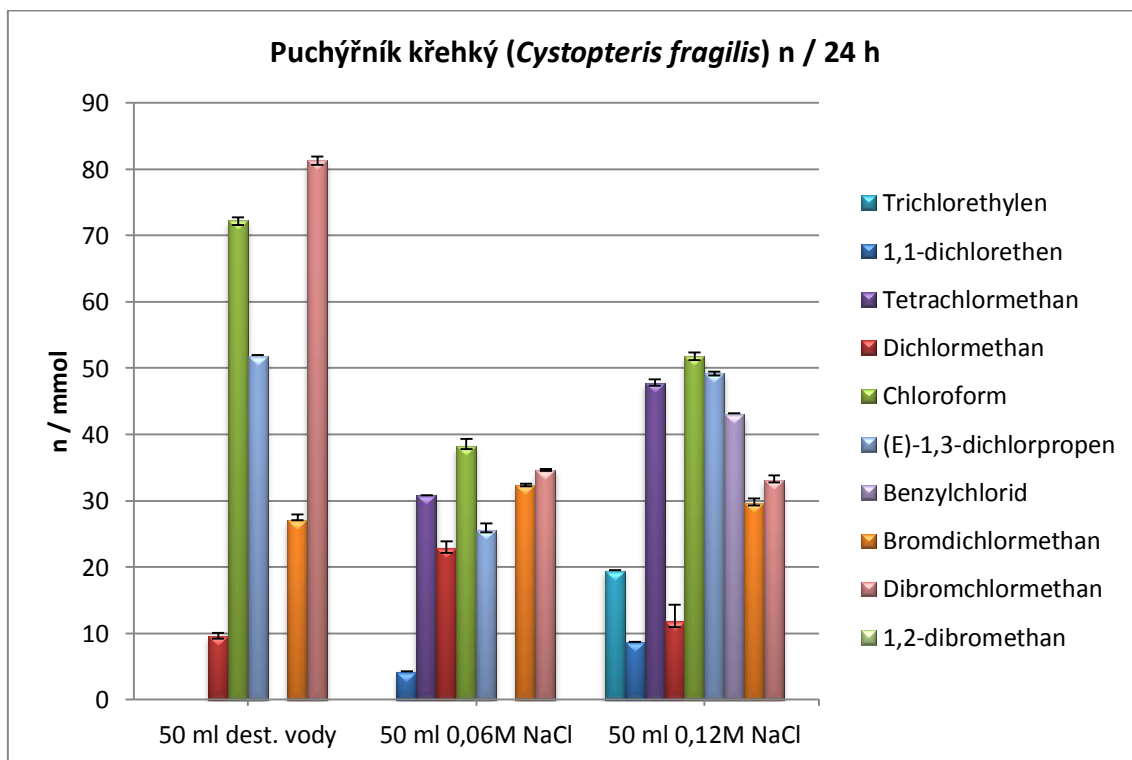


**Příloha 48.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) porostnice mnohotvárné (*Marchantia polymorpha*) v mmol za 48 h

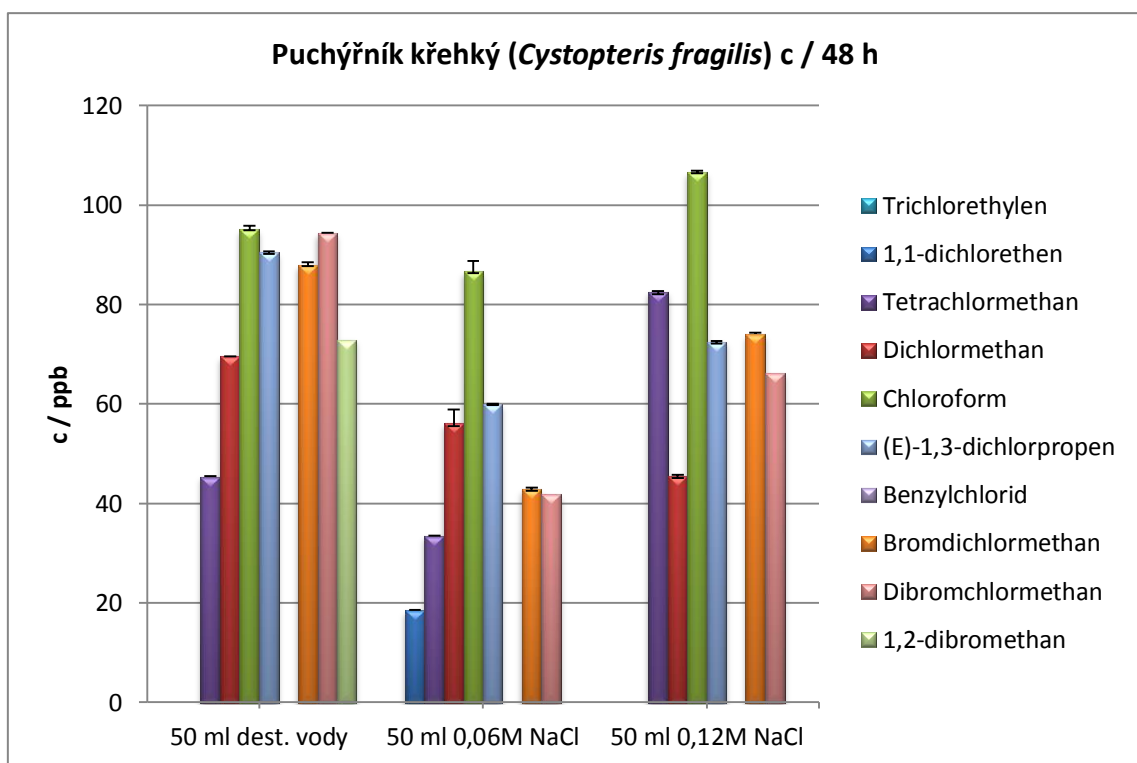




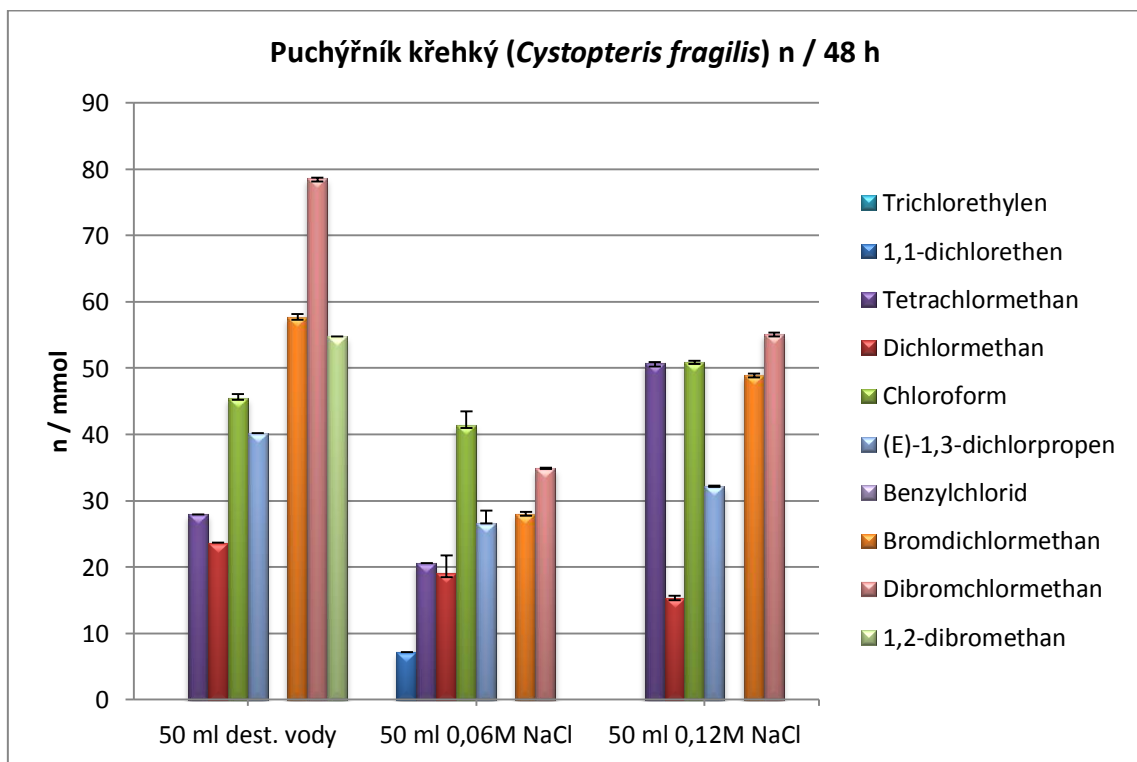
**Příloha 49.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) puchýřníku křehkého (*Cystopteris fragilis*) v ppb za 24 h



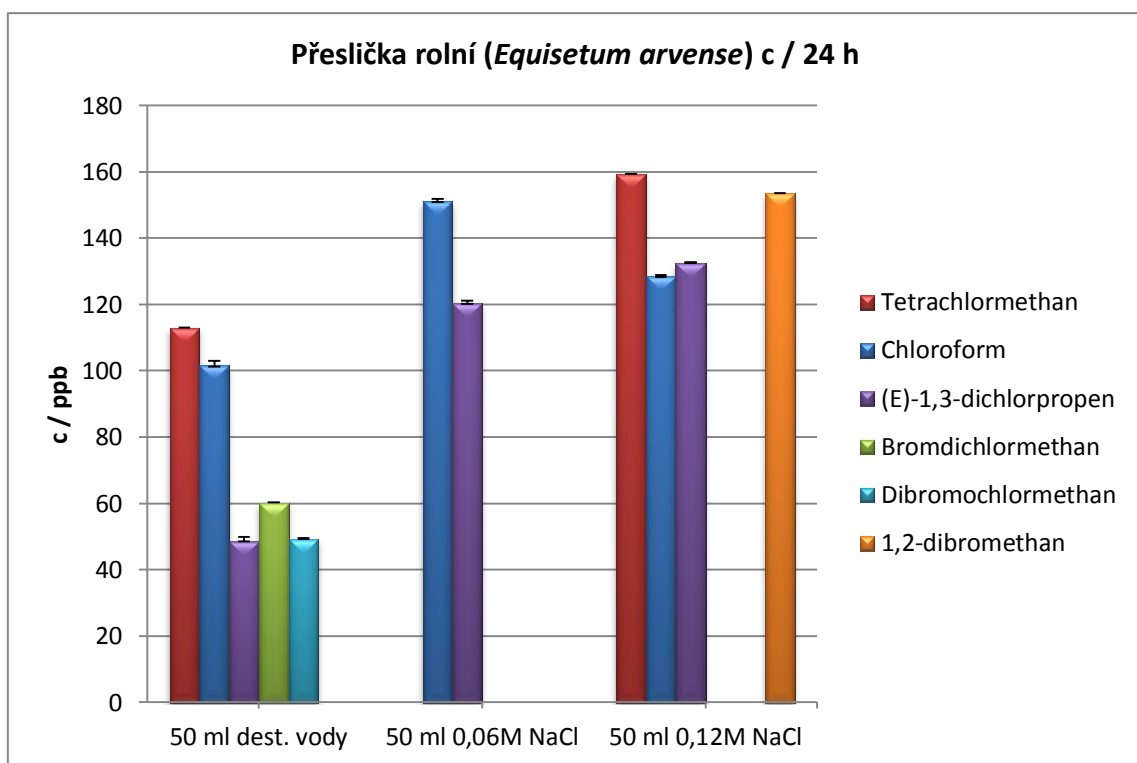
**Příloha 50.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) puchýřníku křehkého (*Cystopteris fragilis*) v mmol za 24 h



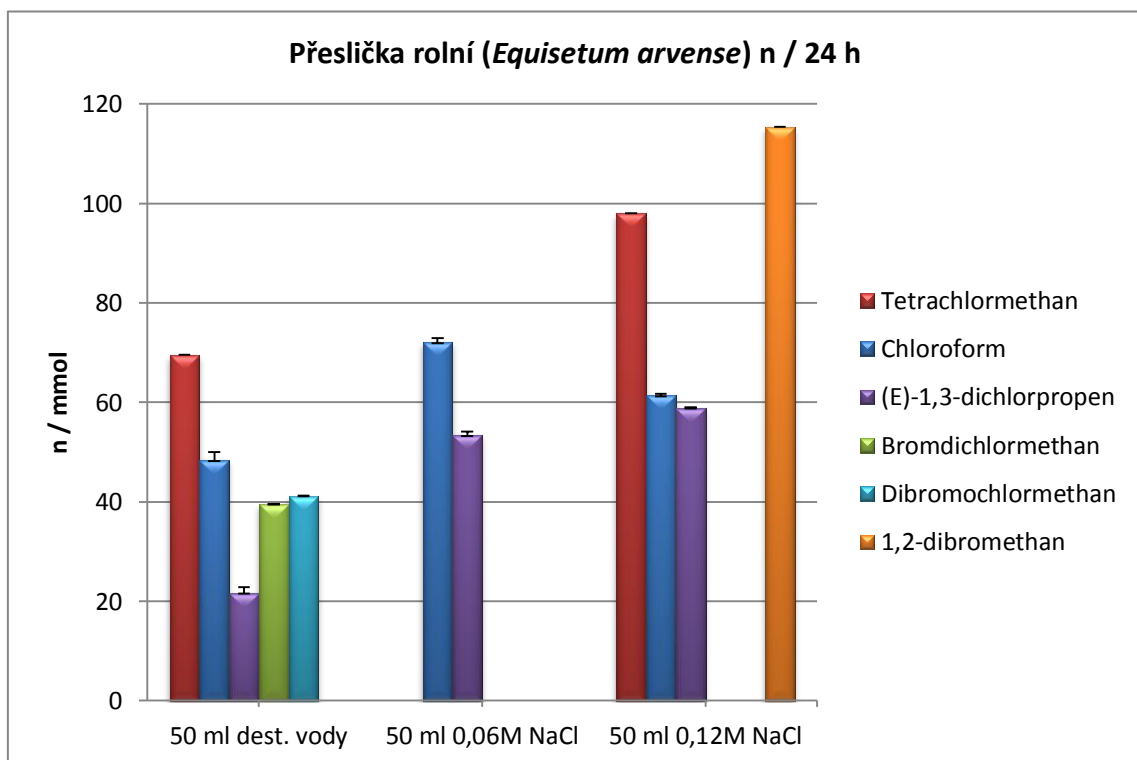
**Příloha 51.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) puchýřníku křehkého (*Cystopteris fragilis*) v ppb za 48 h



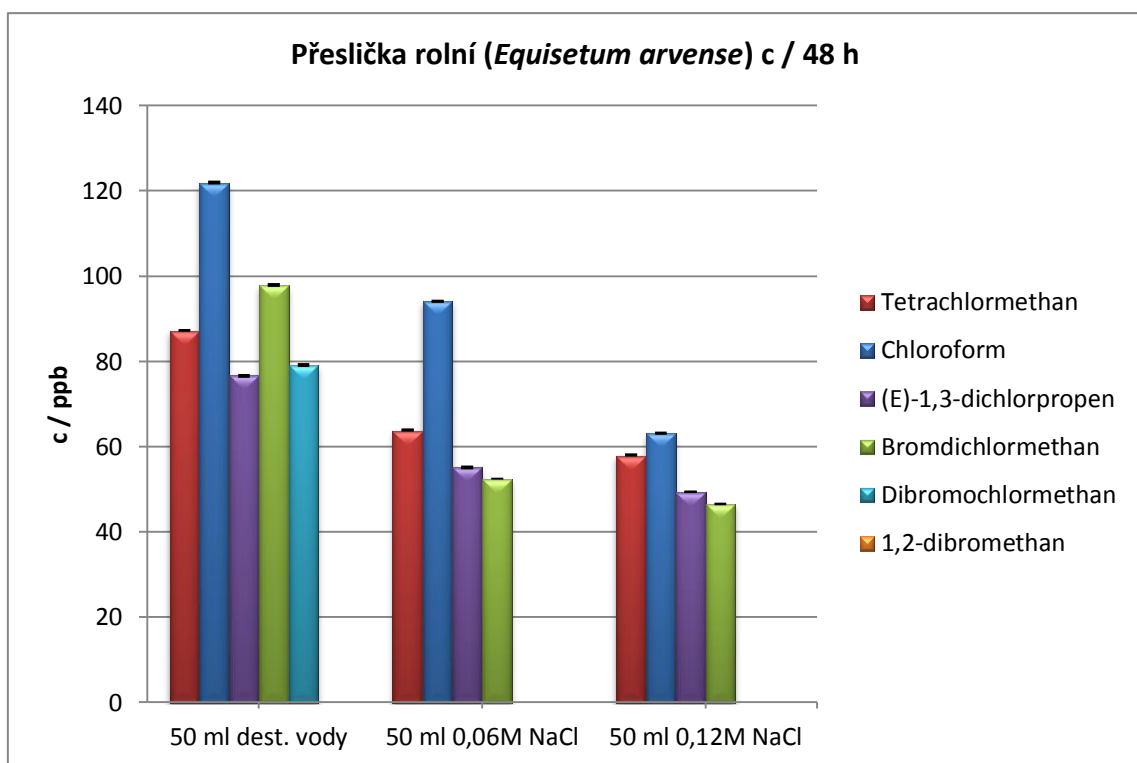
**Příloha 52.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) puchýřníku křehkého (*Cystopteris fragilis*) v mmol za 48 h



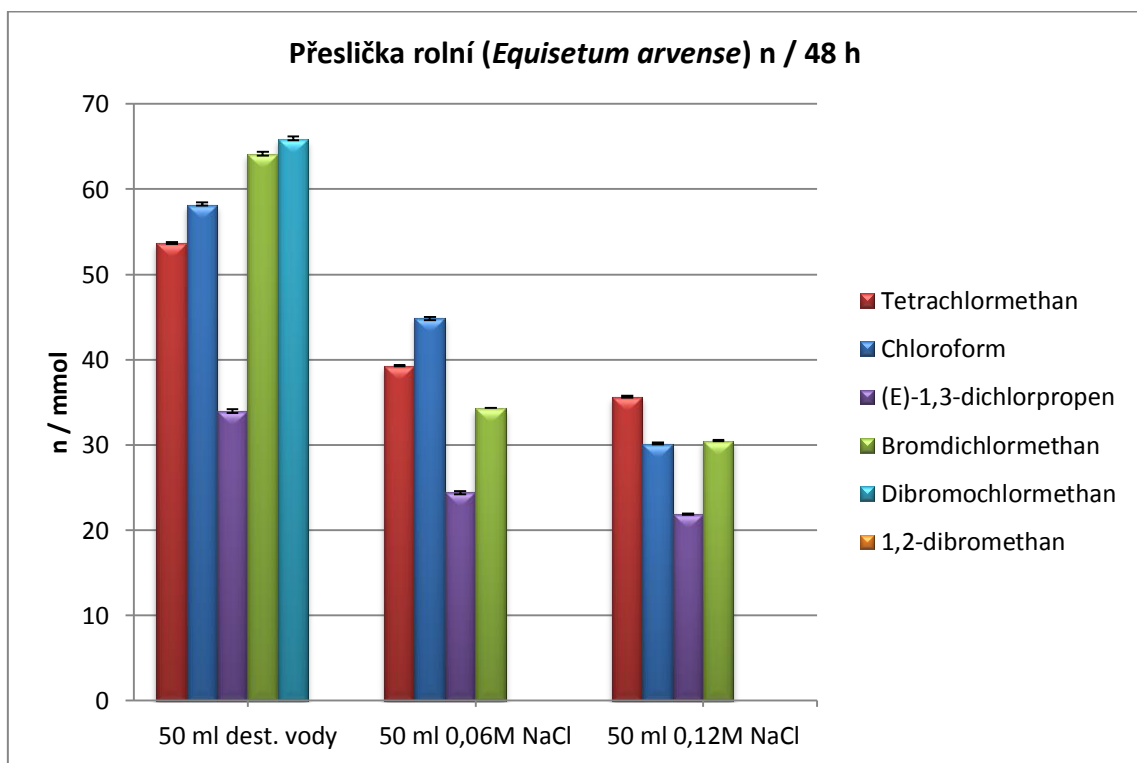
**Příloha 53.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) přesličky rolní (*Equisetum arvense*) v ppb za 24 h



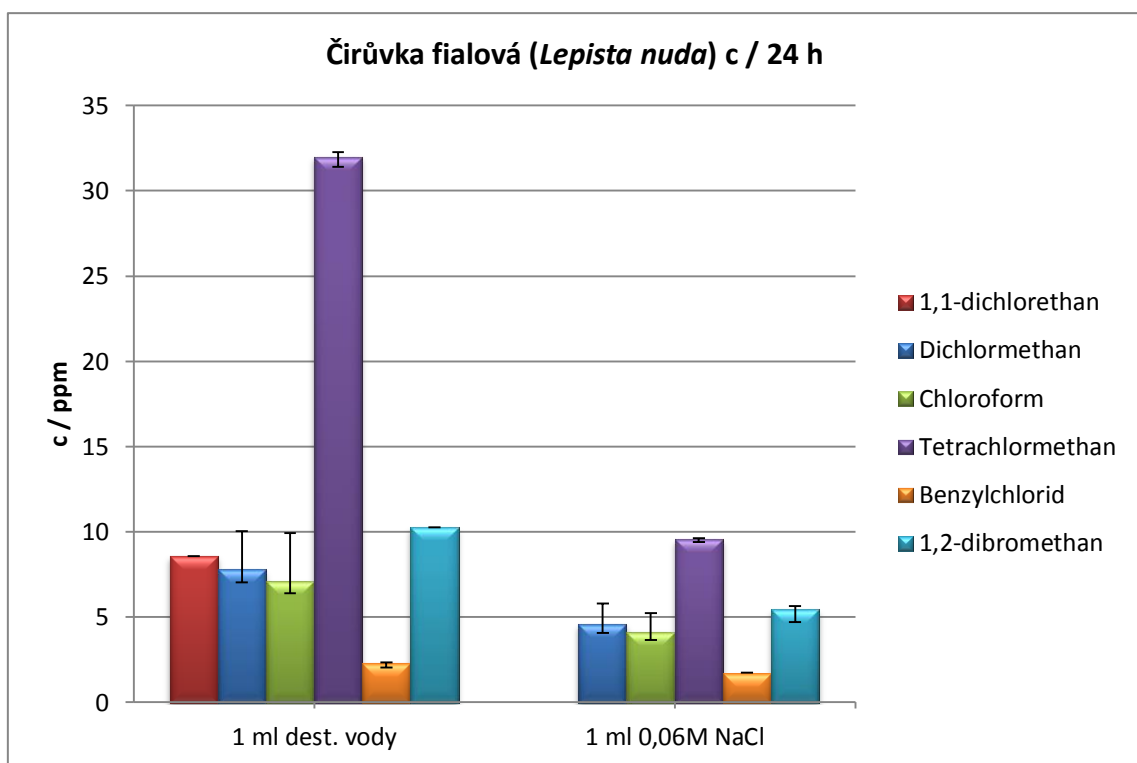
**Příloha 54.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) přesličky rolní (*Equisetum arvense*) v mmol za 24 h



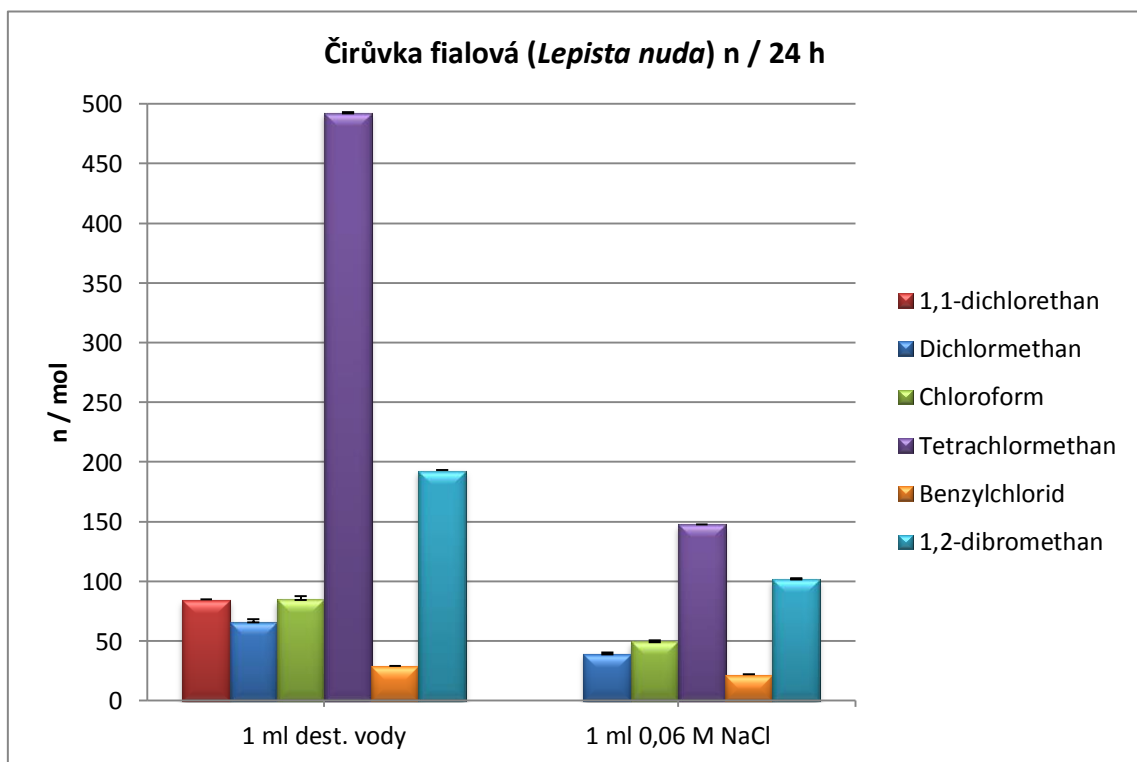
**Příloha 55.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) přesličky rolní (*Equisetum arvense*) v ppb za 48 h



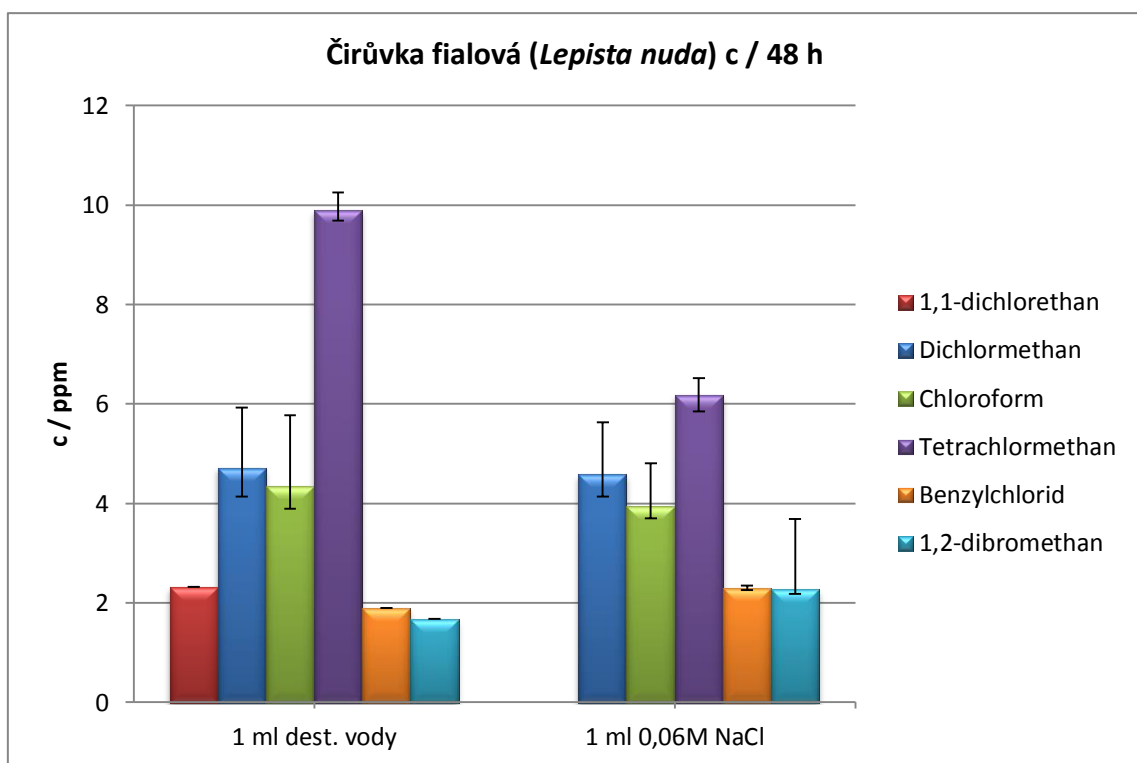
**Příloha 56.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) přesličky rolní (*Equisetum arvense*) v mmol za 48 h



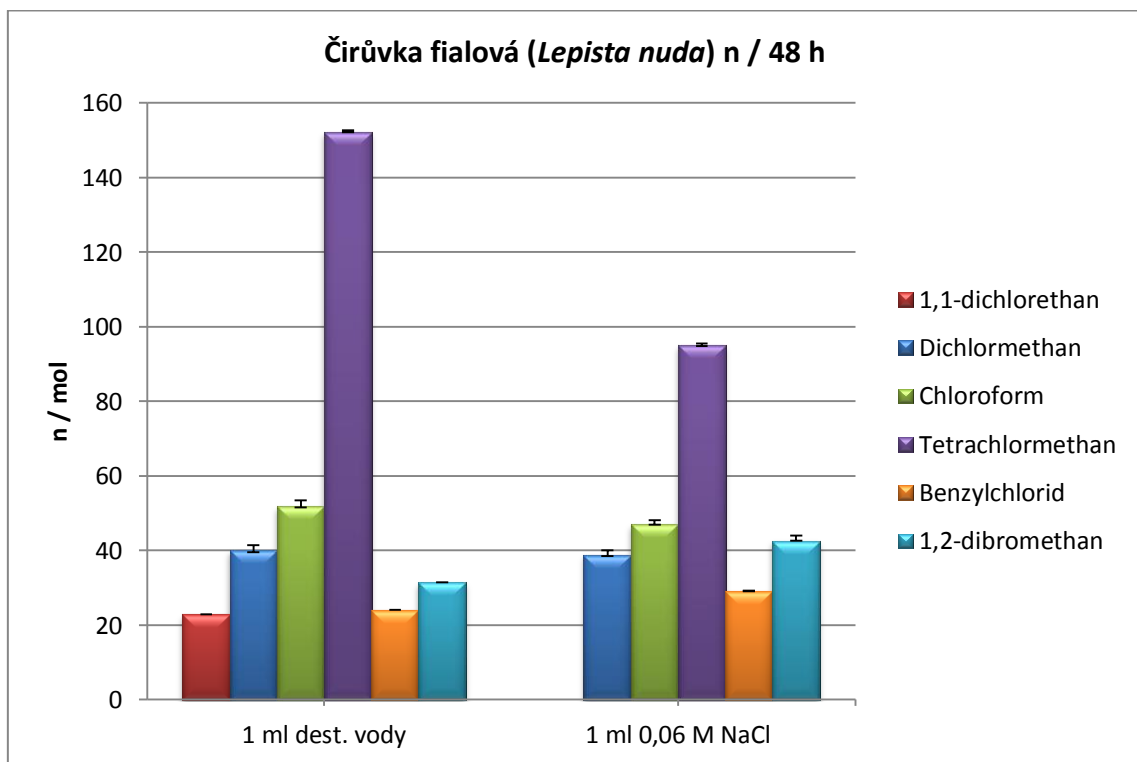
**Příloha 57.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) čirůvky fialové (*Lepista nuda*) v ppm za 24 h



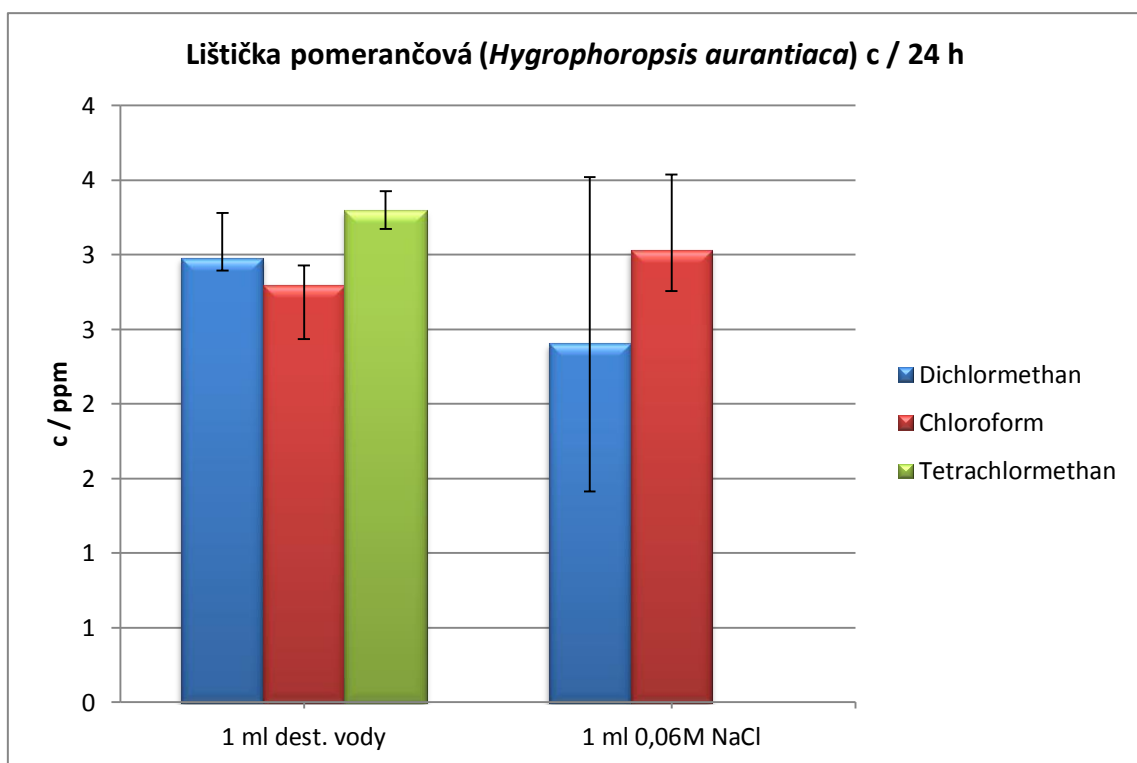
**Příloha 58.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) čirůvky fialové (*Lepista nuda*) v mol za 24 h



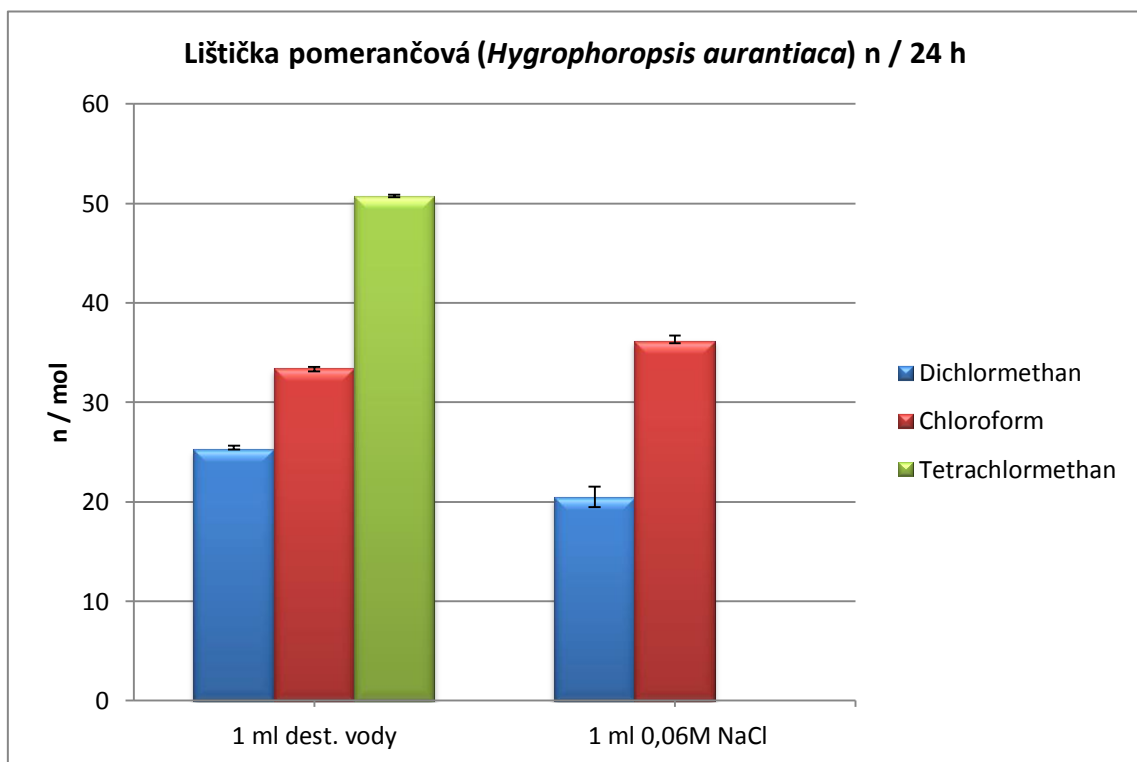
**Příloha 59.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) čirůvky fialové (*Lepista nuda*) v ppm za 48 h



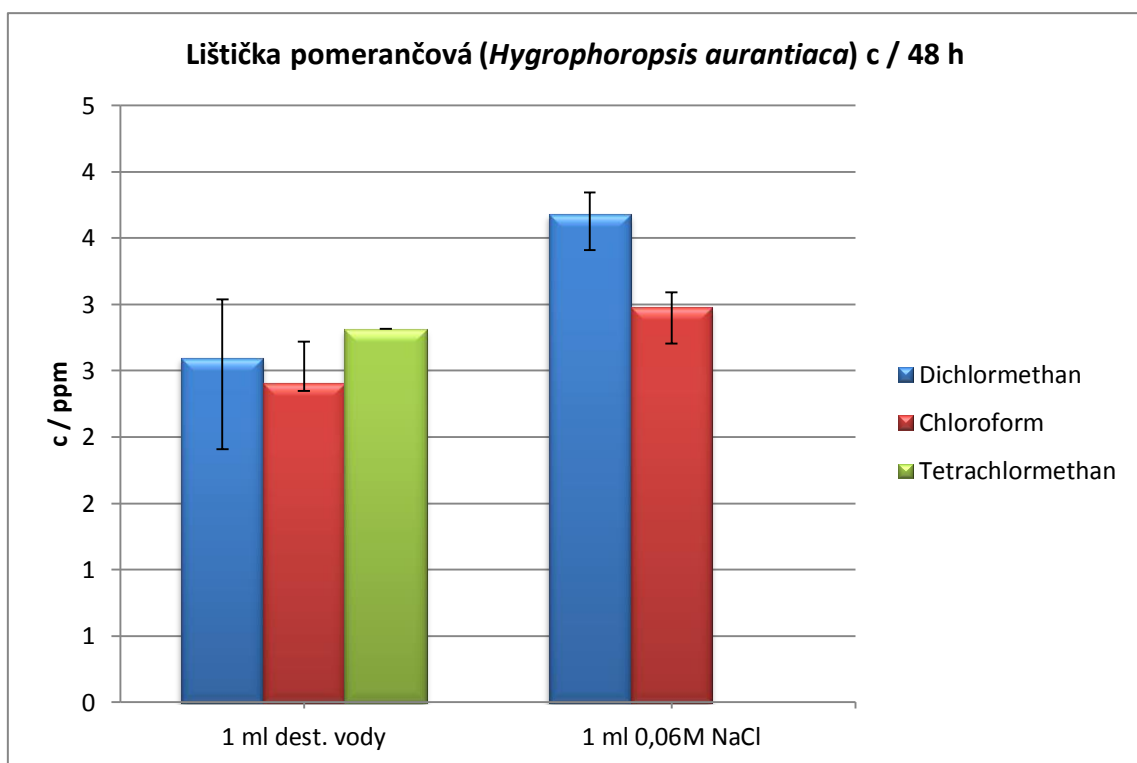
**Příloha 60.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) čirůvky fialové (*Lepista nuda*) v mol za 48 h



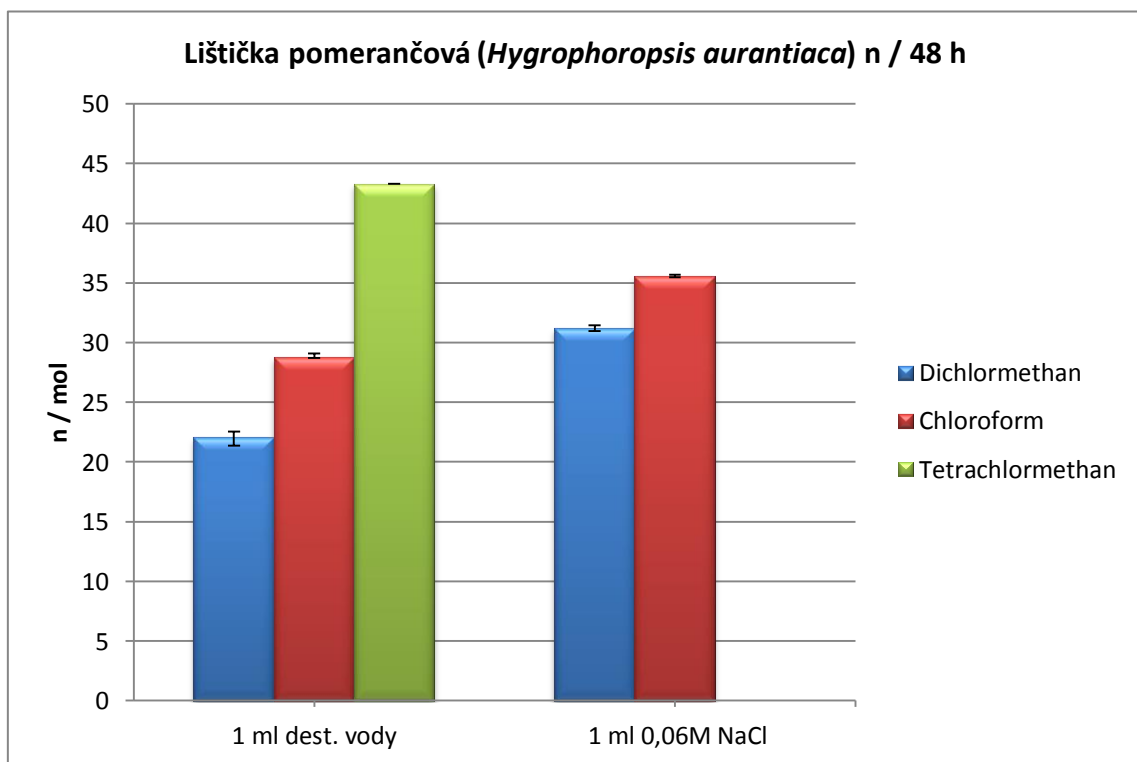
**Příloha 61.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) lištičky pomerančové (*Hygrophoropsis aurantiaca*) v ppm za 24 h



**Příloha 62.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) lištičky pomerančové (*Hygrophoropsis aurantiaca*) v mol za 24 h

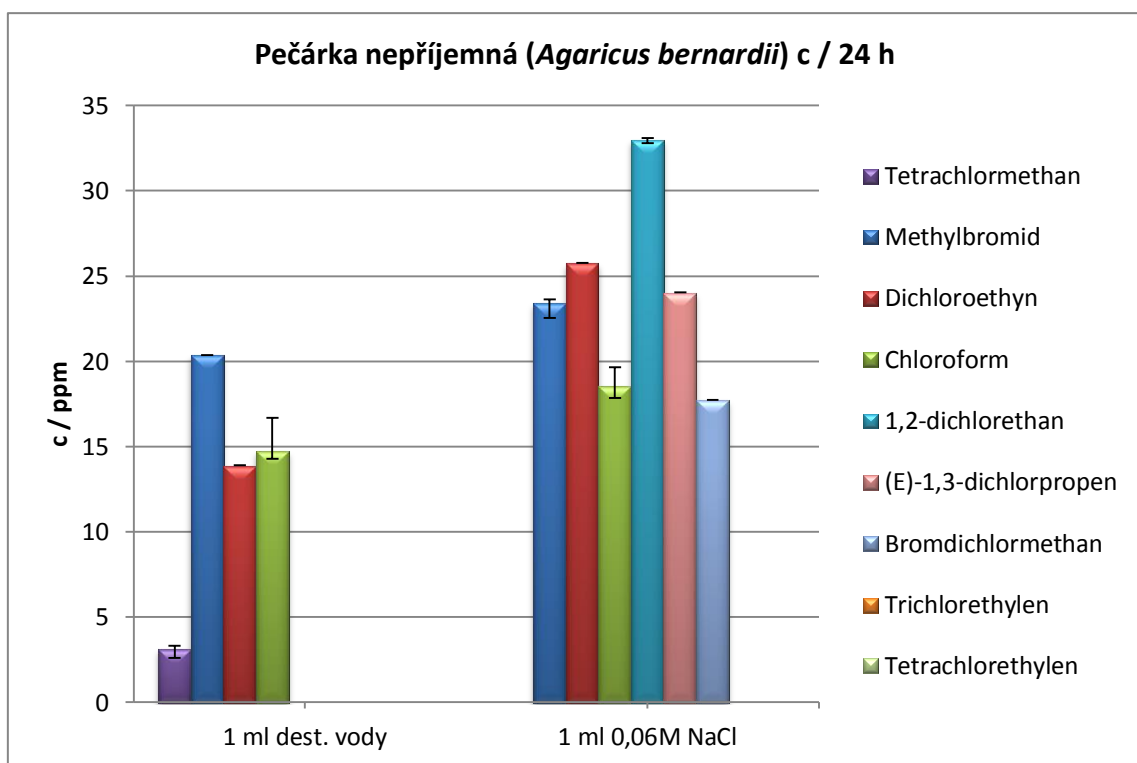


**Příloha 63.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) lištičky pomerančové (*Hygrophoropsis aurantiaca*) v ppm za 48 h

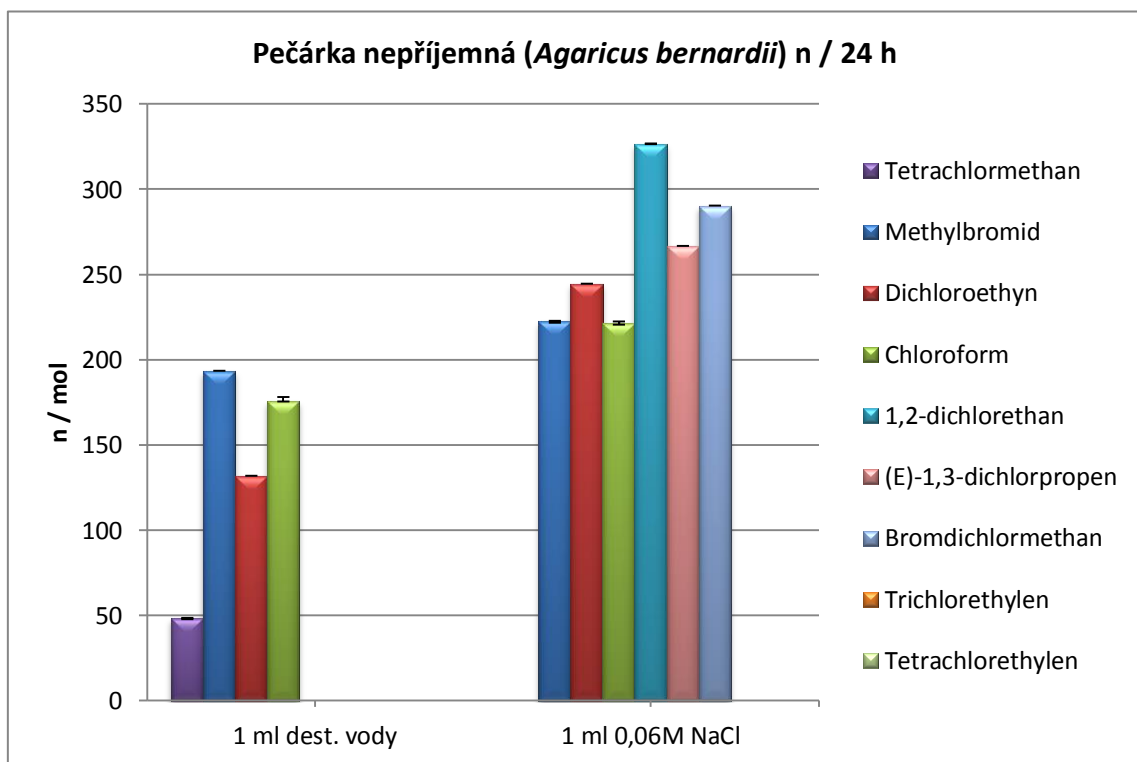


**Příloha 64.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) lištičky pomerančové (*Hygrophoropsis aurantiaca*) v mol za 48 h

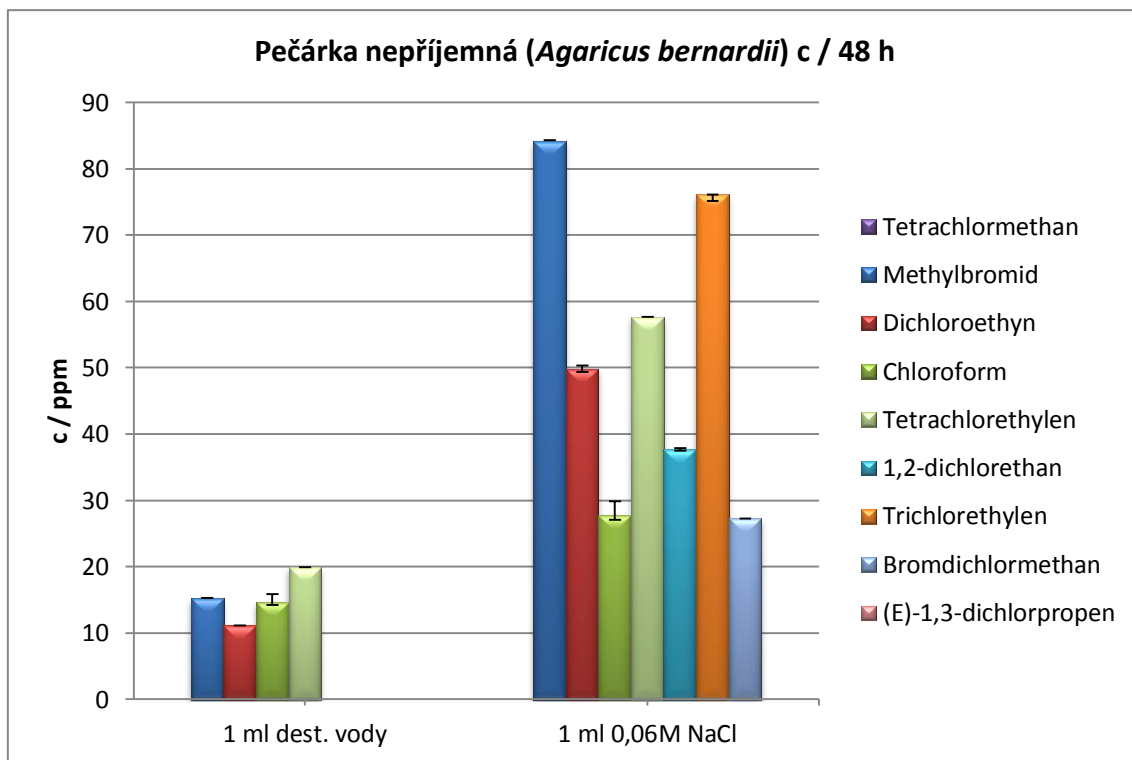




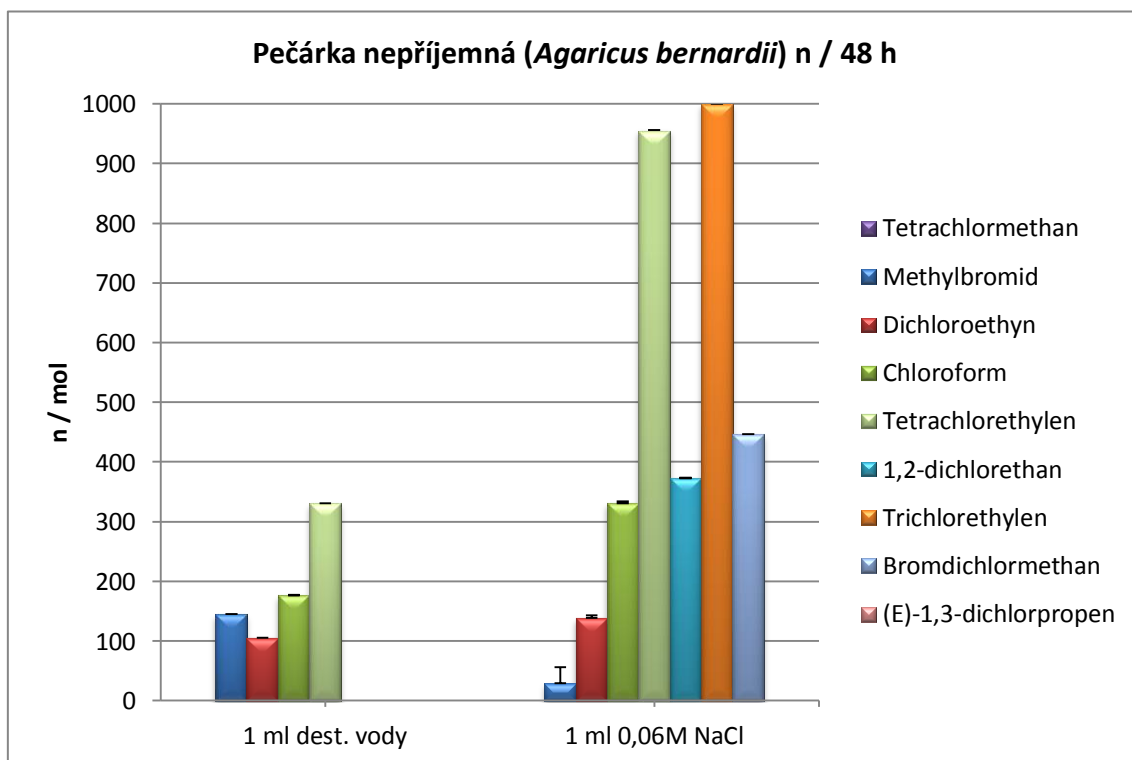
**Příloha 65.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) pečárky nepříjemné (*Agaricus bernardii*) v ppm za 24 h



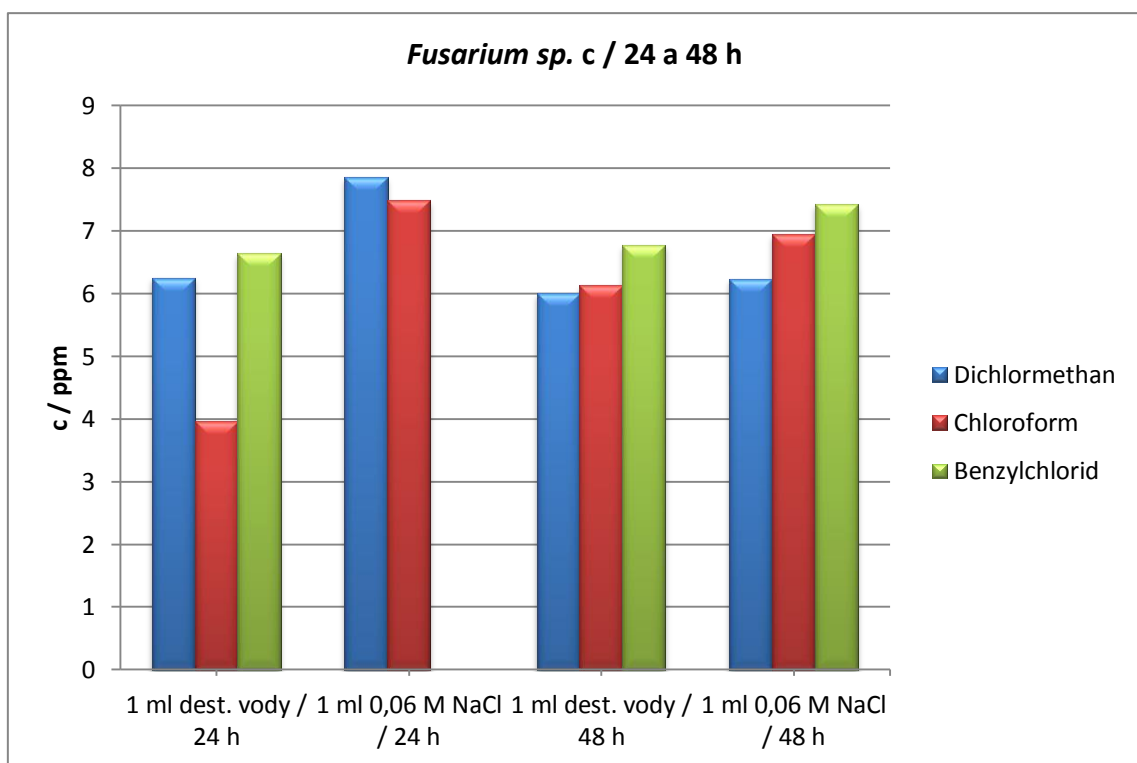
**Příloha 66.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) pečárky nepříjemné (*Agaricus bernardii*) v mol za 24 h



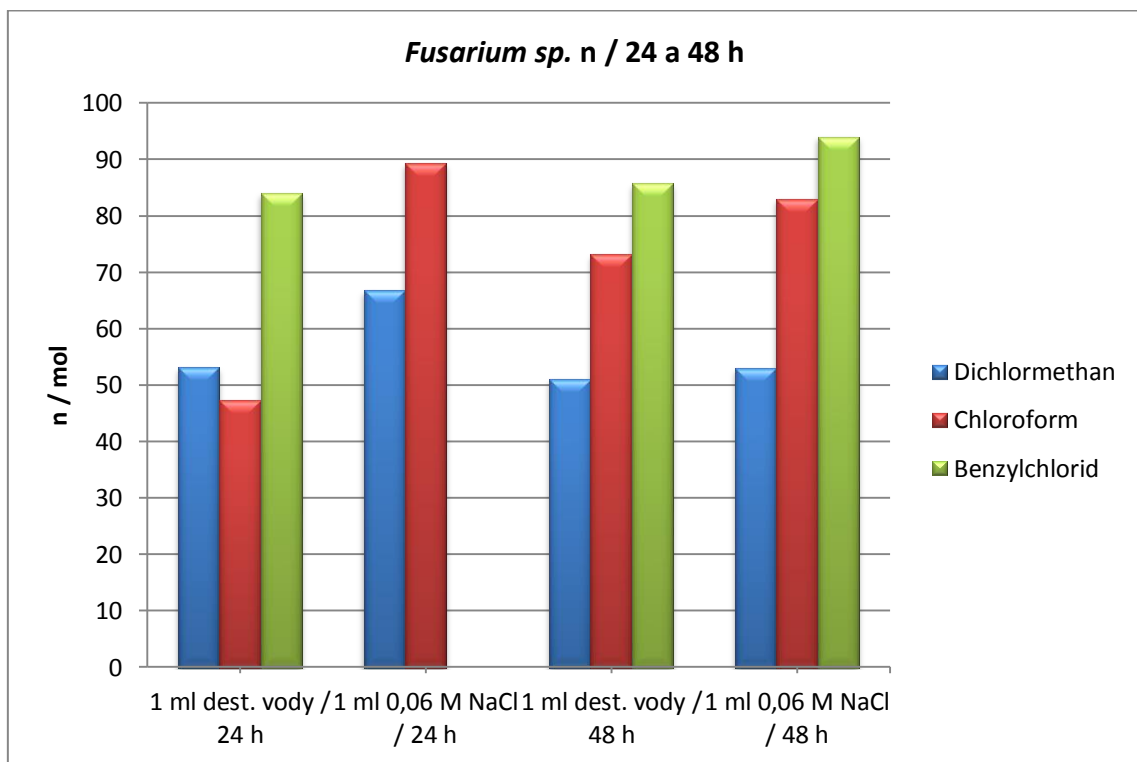
**Příloha 67.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) pečárky nepříjemné (*Agaricus bernardii*) v ppm za 48 h



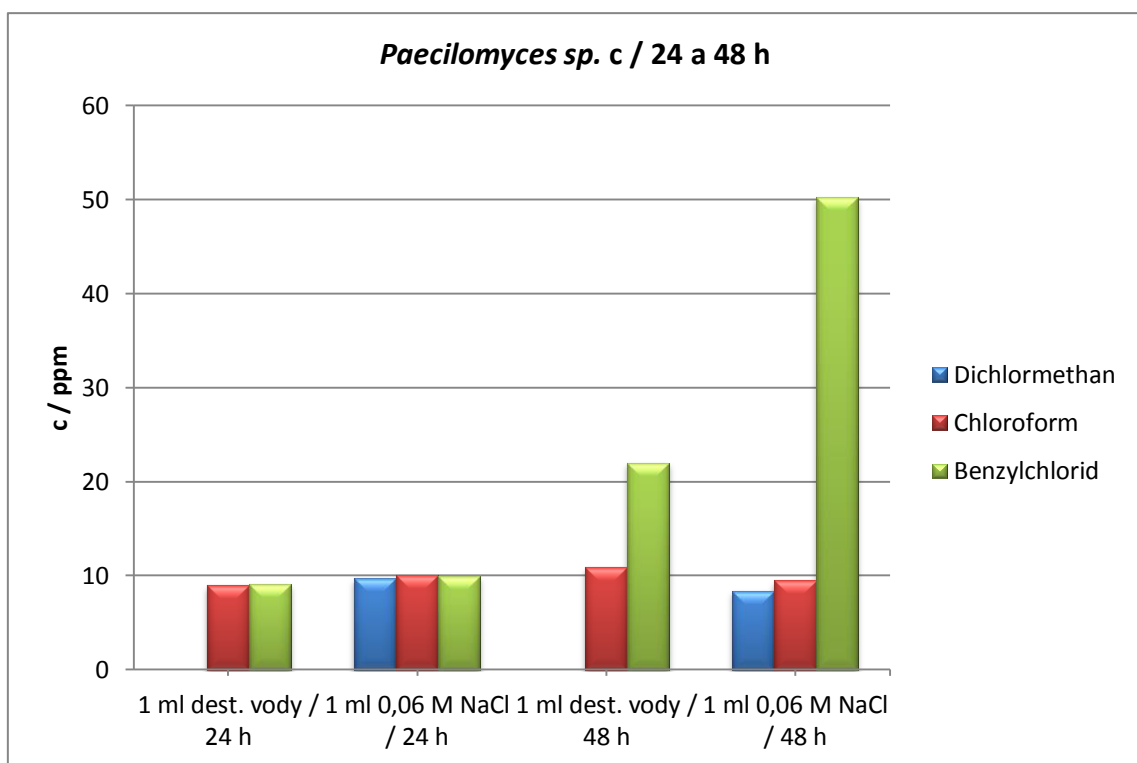
**Příloha 68.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) pečárky nepříjemné (*Agaricus bernardii*) v mol za 48 h



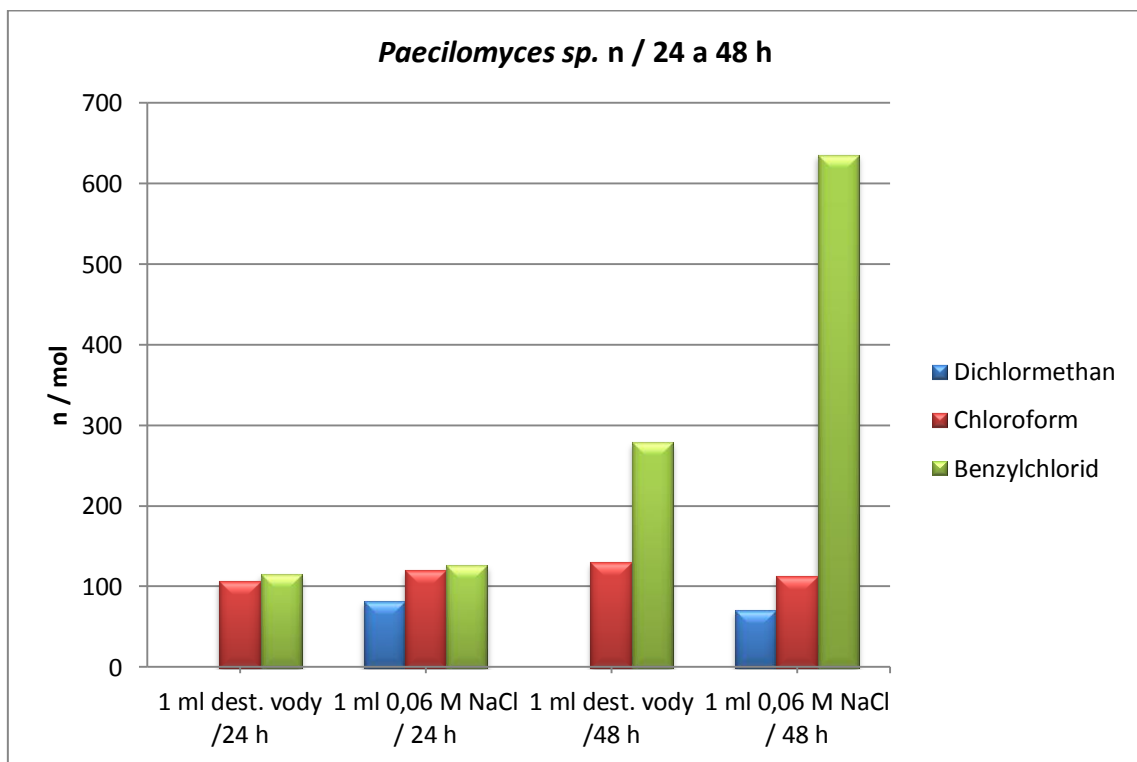
**Příloha 69.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) pro *Fusarium sp.* v ppm za 24 a 48 h



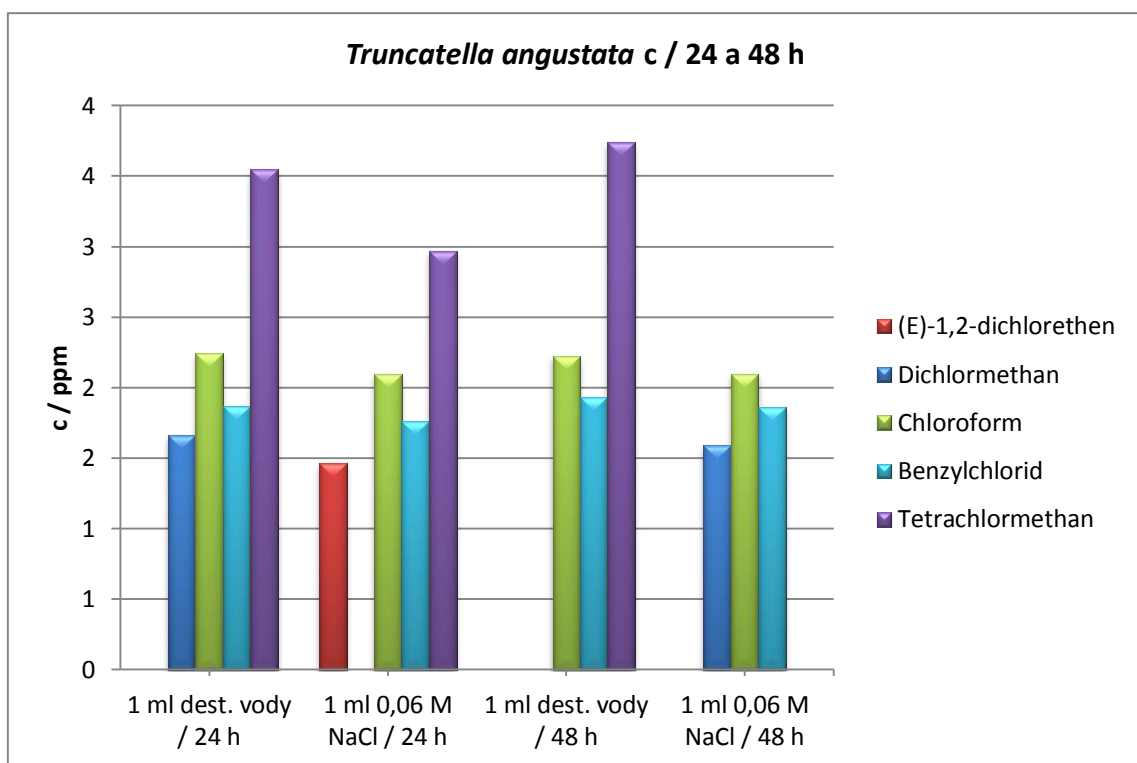
**Příloha 70.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) pro *Fusarium sp.* v mol za 24 a 48 h



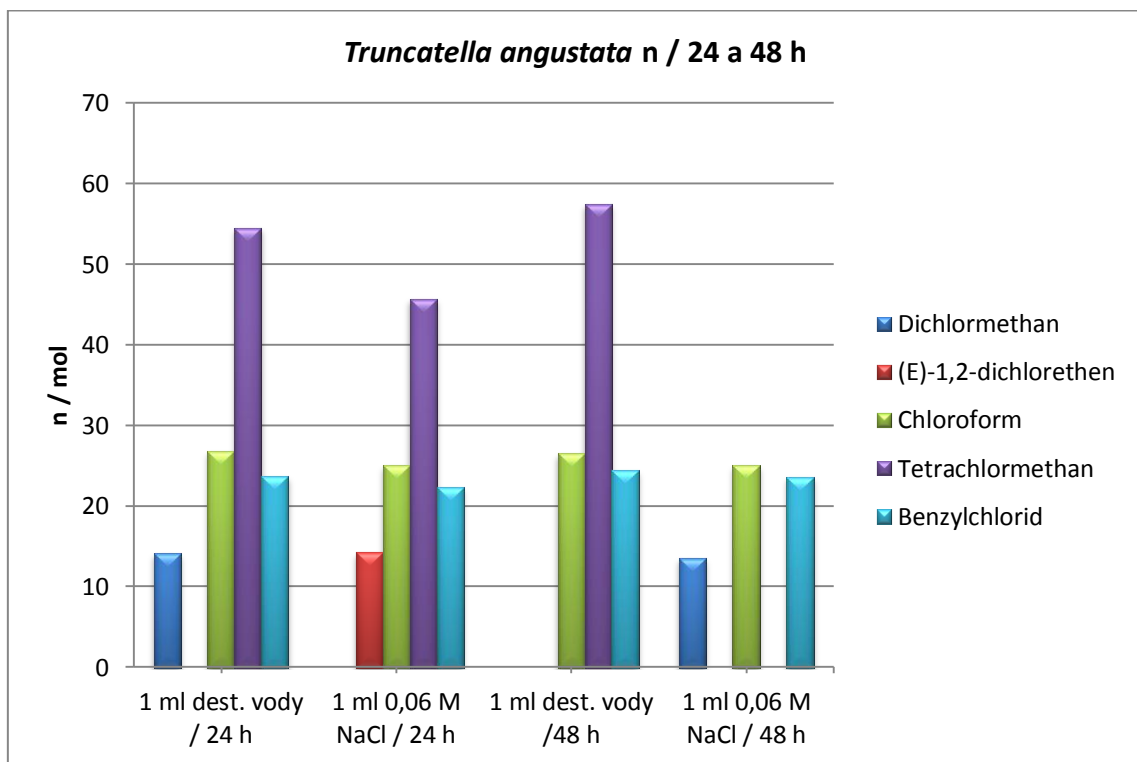
**Příloha 71.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) pro *Paecilomyces sp.* v ppm za 24 a 48 h



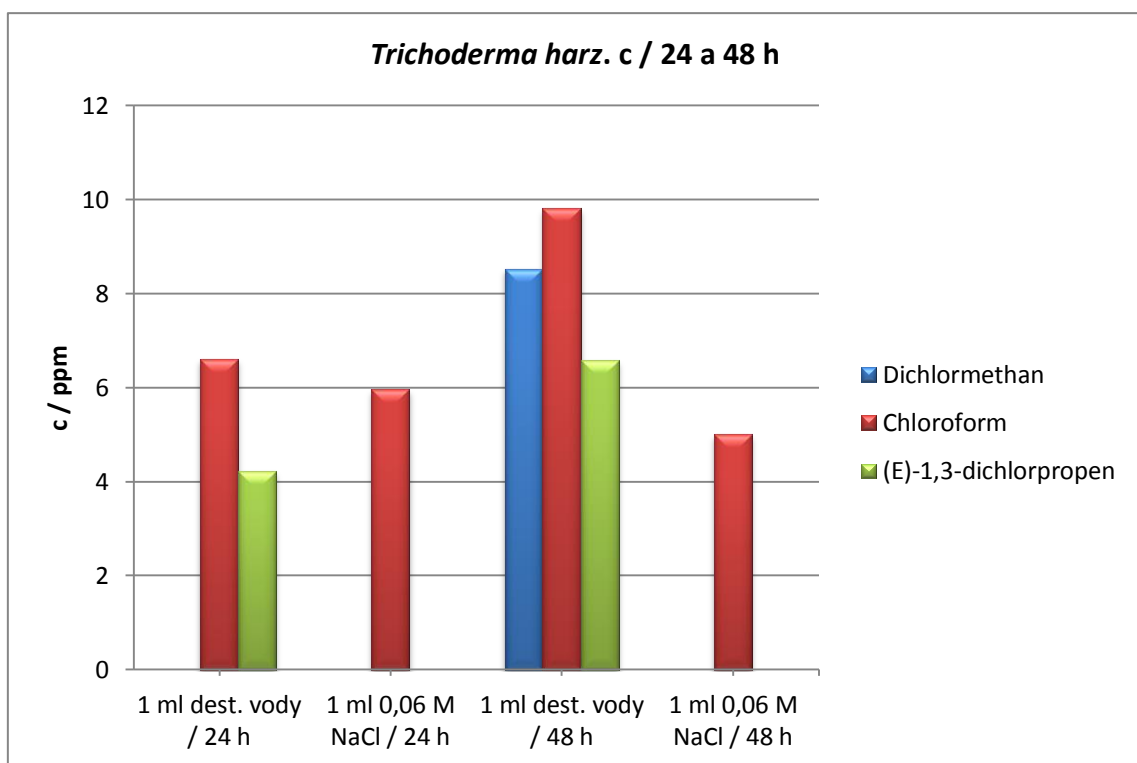
**Příloha 72.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) pro *Paecilomyces sp.* v mol za 24 a 48 h



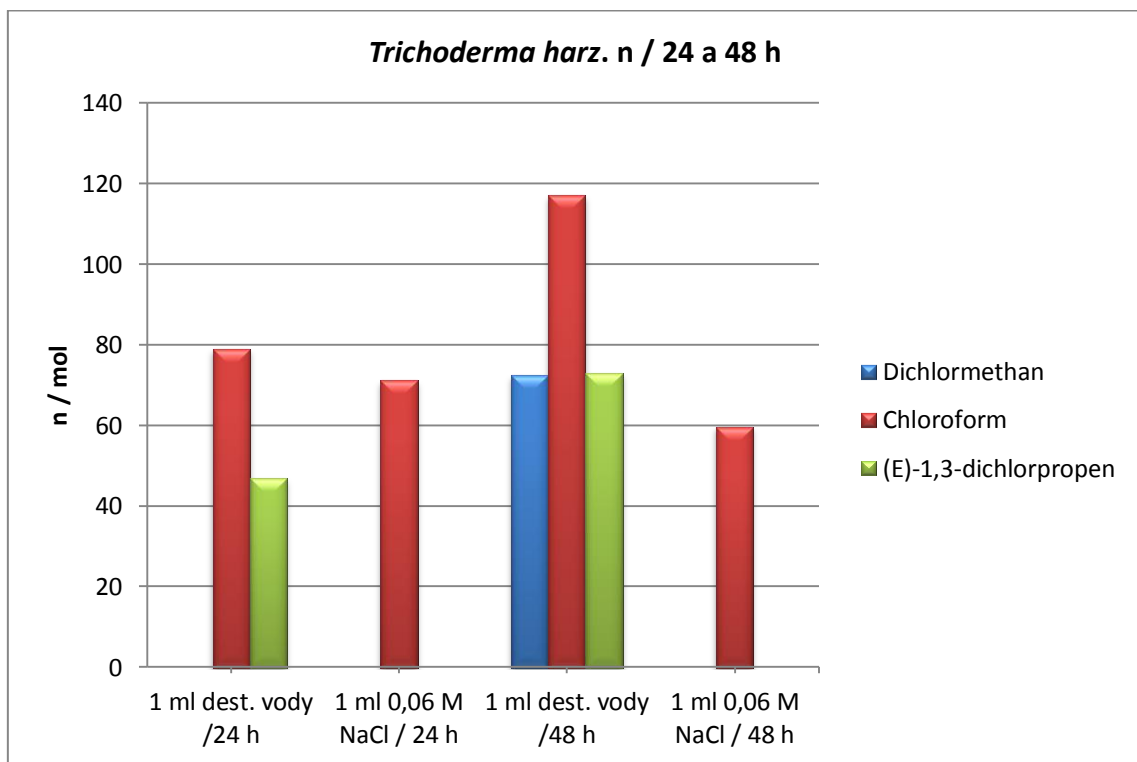
**Příloha 73.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) pro *Truncatella angustata* v ppm za 24 a 48 h



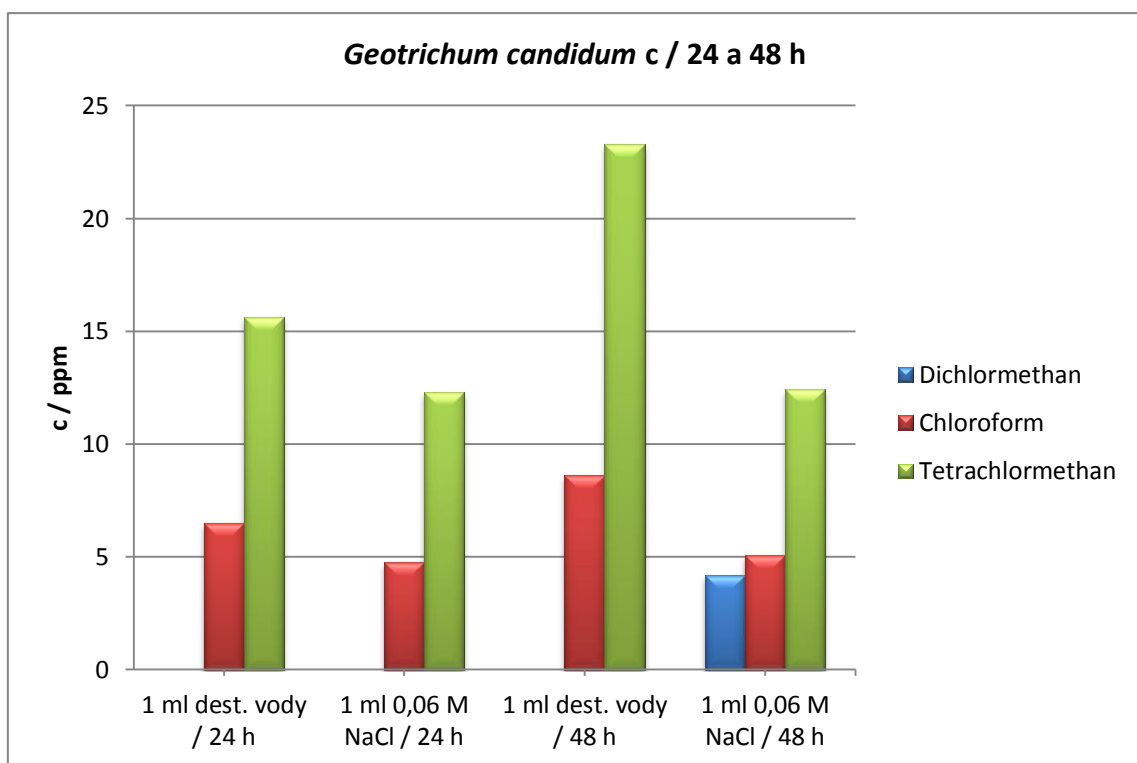
**Příloha 74.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) pro *Truncatella angustata* v mol za 24 a 48 h



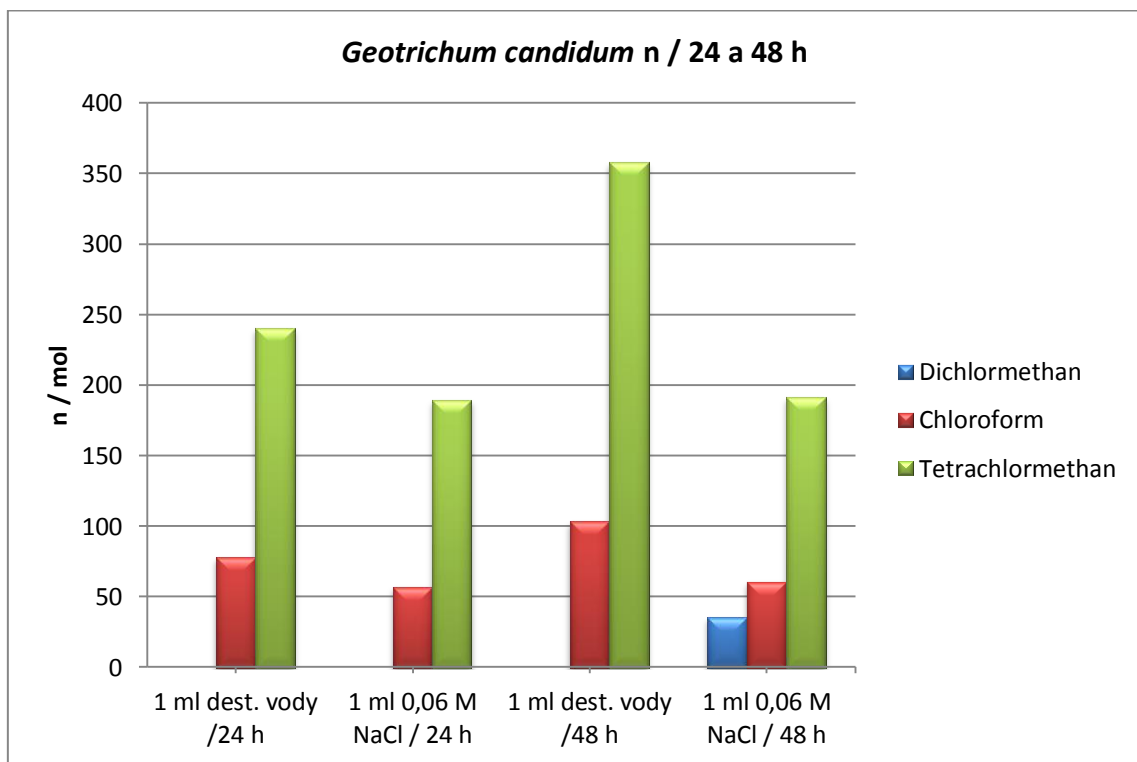
**Příloha 75.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) pro *Trichoderma harzianum* v ppm za 24 a 48 h



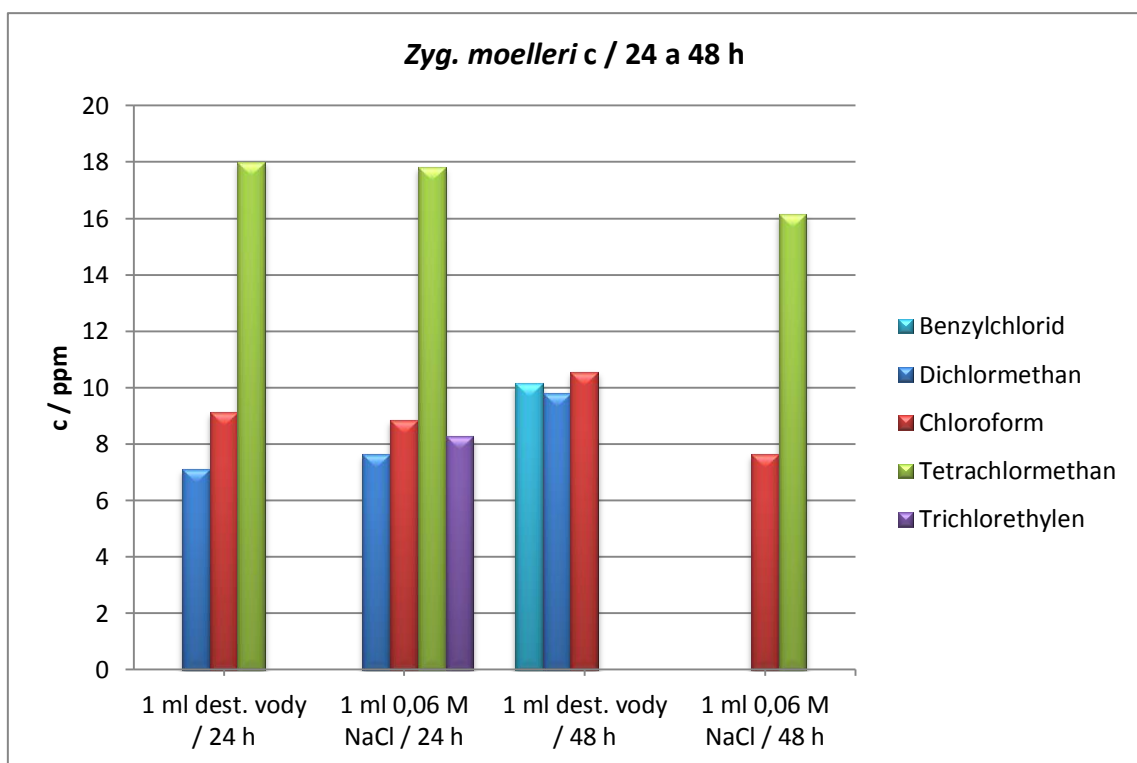
**Příloha 76.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) pro *Trichoderma harzianum* v mol za 24 a 48 h



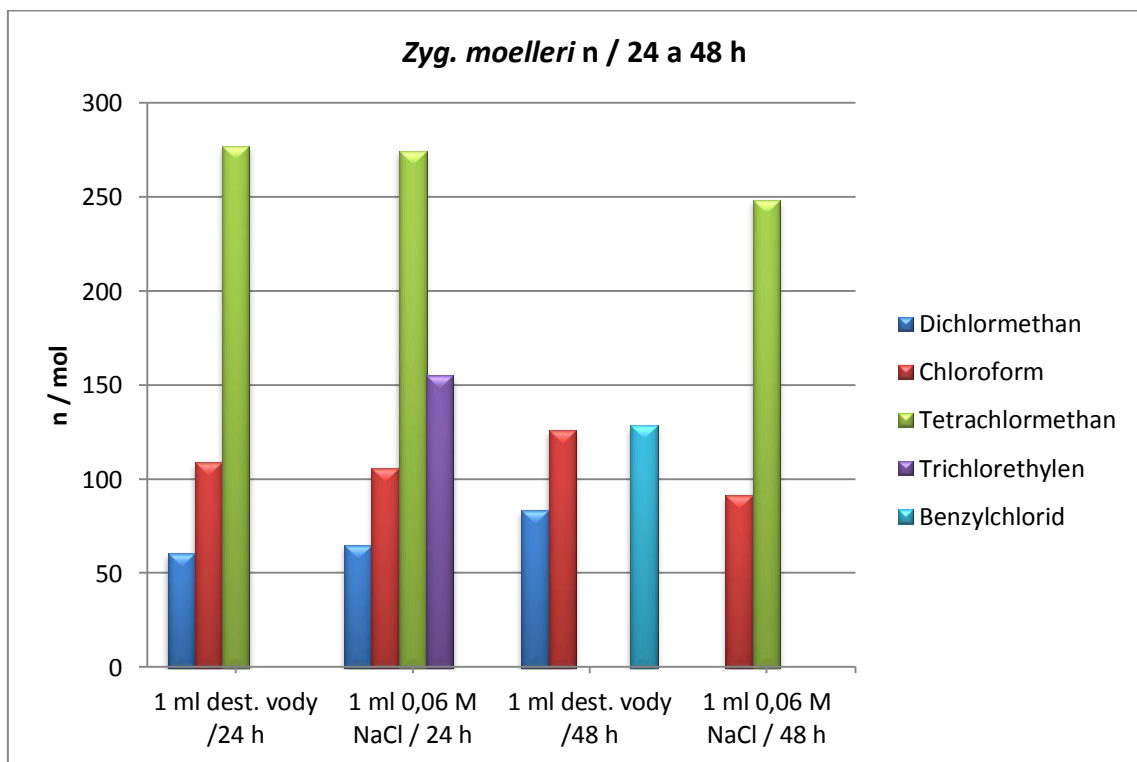
**Příloha 77.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) pro *Geotrichum candidum* v ppm za 24 a 48 h



**Příloha 78.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) pro *Geotrichum candidum* v mol za 24 a 48 h



**Příloha 79.** Emise jednotlivých analytů na 1 g suché váhy (DW) pro *Zygorhynchus moelleri* v ppm za 24 a 48 h



**Příloha 80.** Látkové množství jednotlivých analytů emitovaných 1 g suché váhy (DW) pro *Zygorhynchus moelleri* v mol za 24 a 48 h



<b>Bělomech sivý</b>	<b>DV 24/ 48</b>	<b>0,06 24/ 48</b>	<b>0,12 24/ 48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>24h DV/ 0,12</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,12</b>	<b>24h 0,06/ 0,12</b>	<b>48h 0,06/ 0,12</b>
Chloroform	0,9	1,2	0,9	0,9	1,2	1,1	1,3	1,4	1,1
Bromdichlormethan	0,7	1,1	1,1	1,0	1,1	1,5	1,7	1,2	1,2
(E)-1,3-dichlorpropen									
Dibromchlormethan	0,0			0,0					

**Příloha 81.** Korelace proměnných bělomechu sivého pro přidanou destilovanou vodu (DV), 0,06 M (0,06) nebo 0,12 M (0,12) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Ploník ztenčený</b>	<b>DV 24/ 48</b>	<b>0,06 24/ 48</b>	<b>0,12 24/ 48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>24h DV/ 0,12</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,12</b>	<b>24h 0,06/ 0,12</b>	<b>48h 0,06/ 0,12</b>
1,1-dichlorethen		0,0				0,0			
Dichlormethan				0,0					
Chloroform	0,8	1,0	0,8	0,9	1,3	1,2	1,3	1,5	1,1
Tetrachlormethan		0,0	0,0			0,0	0,0		0,4
Trichloroethylen			0,0				0,0		0,0
Bromdichlormethan	1,2		0,8	1,2	1,3		0,9	1,1	0,0
(E)-1,3-dichlorpropen	1,3	2,4	0,9	1,2	1,3	2,3	1,0	1,1	0,4
Dibromchlormethan	1,4								
1,2-dibromethan			0,0				0,0		0,0
1,1,2,2-tetrachlorethan	1,3	1,0	0,9	1,2	1,2	1,0	0,9	1,0	0,9
Benzylchlorid			0,9	1,0	1,1		0,0	1,1	0,0

**Příloha 82.** Korelace proměnných ploníku ztenčeného pro přidanou destilovanou vodu (DV), 0,06 M (0,06) nebo 0,12 M (0,12) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Travník Schreberův</b>	<b>DV 24/ 48</b>	<b>0,06 24/ 48</b>	<b>0,12 24/ 48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>24h DV/ 0,12</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,12</b>	<b>24h 0,06/ 0,12</b>	<b>48h 0,06/ 0,12</b>
1,1-dichlorethen		0,0				0,0			
Chloroform	1,0	1,1	1,0	0,8	1,1	0,9	1,2	1,4	1,3
Tetrachlormethan	0,9	0,0	0,0			1,1	0,9		0,9
Trichlorethylen		0,0	0,0			0,0	0,0		0,8
Bromdichlormethan			0,9		1,0		0,0	0,0	0,0
(E)-1,3-dichlorpropen	1,3	1,2	0,9	1,1	1,3	1,0	0,9	1,1	0,9
1,1,2-trichlorethan			0,0				0,0		0,0
1,2-dibromethan	0,0	1,0	1,1	0,0	0,0	1,0	1,0	0,8	0,9

**Příloha 83.** Korelace proměnných travníku Schreberova pro přidanou destilovanou vodu (DV), 0,06 M (0,06) nebo 0,12 M (0,12) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Rašeliník kostrbatý</b>	<b>DV 24/ 48</b>	<b>0,06 24/ 48</b>	<b>0,12 24/ 48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>24h DV/ 0,12</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,12</b>	<b>24h 0,06/ 0,12</b>	<b>48h 0,06/ 0,12</b>
(E)-1,2-dichlorethen	0,0	0,0	0,0			0,6	0,6		1,0
1,1-dichlorethan		0,0	0,0			0,0	0,0		0,9
Chloroform	1,4	1,3	1,1	1,1	1,2	1,0	1,0	1,2	1,0
Tetrachlormethan		1,4	1,3	1,1	1,2	0,0	0,0	1,1	1,1
Bromdichlormethan	1,3	1,1	0,9	0,9	1,0	0,8	0,8	1,1	0,9
(E)-1,3-dichlorpropen	1,4	1,3	1,3	1,1	1,2	1,1	1,1	1,1	1,0
1,1,2-trichlorethan				0,0					
Tetrachlorethylen				1,1	1,3			1,1	
Dibromchlormethan		1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,9
1,2-dibromethan		1,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,0
1,1,2,2-tetrachlorethan	1,3	1,2	1,0	1,1	1,4	1,0	1,1	1,2	1,1
Benzylochlordid		1,4		0,0	0,0	0,0		1,0	

**Příloha 84.** Korelace proměnných rašeliníku kostrbatého pro přidanou destilovanou vodu (DV), 0,06 M (0,06) nebo 0,12 M (0,12) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Rokytník skvělý</b>	<b>DV 24/ 48</b>	<b>0,06 24/ 48</b>	<b>0,12 24/ 48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>24h DV/ 0,12</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,12</b>	<b>24h 0,06/ 0,12</b>	<b>48h 0,06/ 0,12</b>
Chloroform	0,7	1,0	1,0	0,9	0,9	1,2	1,3	1,0	1,0
Tetrachlormethan	4,3	1,1	1,3	1,4	1,6	0,4	0,5	1,1	1,4
Trichlorethylen			0,8		0,0		0,0	0,0	0,0
Bromodichlormethan	0,8	1,0	1,0	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,0
(E)-1,3-dichlorpropen		1,1		1,3	1,4	0,0		1,1	
1,1,2-trichlorethan				1,1					
Dibromchlormethan		0,0	0,0			0,0	0,0		1,0
1,2-dibromethan		0,0	0,0			0,0	0,0		1,0
Benzylchlorid		1,4		0,0	0,0	0,0		1,4	

**Příloha 85.** Korelace proměnných rokytníku skvělého pro přidanou destilovanou vodu (DV), 0,06 M (0,06) nebo 0,12 M (0,12) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Měřík čeřitý</b>	<b>DV 24/ 48</b>	<b>0,06 24/ 48</b>	<b>0,12 24/ 48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>24h DV/ 0,12</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,12</b>	<b>24h 0,06/ 0,12</b>	<b>48h 0,06/ 0,12</b>
Chloroform	1,1	1,1	1,3	0,7	1,0	0,7	1,2	1,5	1,7
(E)-1,3-dichlorpropen	1,0	1,7	0,7	0,8	1,3	1,4	0,8	1,5	0,6

**Příloha 86.** Korelace proměnných měřík čeřitý pro přidanou destilovanou vodu (DV), 0,06 M (0,06) nebo 0,12 M (0,12) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Porostnice mnohotvárná</b>	<b>DV 24/ 48</b>	<b>0,06 24/ 48</b>	<b>0,12 24/ 48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>24h DV/ 0,12</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,12</b>	<b>24h 0,06/ 0,12</b>	<b>48h 0,06/ 0,12</b>
Chloroform	0,6	1,3	1,9	0,5	0,5	1,1	1,4	0,9	1,3
Bromdichlormethan		0,7	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	1,2
(E)-1,3-dichlorpropen			0,0	0,9			0,0		0,0

**Příloha 87.** Korelace proměnných porostnice mnohotvárné pro přidanou destilovanou vodu (DV), 0,06 M (0,06) nebo 0,12 M (0,12) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Puchýřník křehký</b>	<b>DV 24/ 48</b>	<b>0,06 24/ 48</b>	<b>0,12 24/ 48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>24h DV/ 0,12</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,12</b>	<b>24h 0,06/ 0,12</b>	<b>48h 0,06/ 0,12</b>
1,1-dichlorethen		0,6		0,0	0,0	0,0		0,5	
Dichlormethan	0,4	1,2	0,8	0,4	0,8	1,2	1,5	1,9	1,2
Chloroform	1,6	0,9	1,0	1,9	1,4	1,1	0,9	0,7	0,8
Tetrachlormethan	0,0	1,5	0,9	0,0	0,0	1,4	0,6	0,6	0,4
Trichlorethylen					0,0			0,0	
Bromdichlormethan	0,5	1,2	0,6	0,8	0,9	2,1	1,2	1,1	0,6
(E)-1,3-dichlorpropen	1,3	1,0	1,5	2,0	1,1	1,5	1,2	0,5	0,8
Dibromchlormethan	1,0	1,0	0,6	2,3	2,5	2,3	1,4	1,0	0,6
1,2-dibromethan	0,0								
Benzylchlorid					0,0			0,0	

**Příloha 88.** Korelace proměnných puchýřníku křehkého pro přidanou destilovanou vodu (DV), 0,06 M (0,06) nebo 0,12 M (0,12) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Přeslička rolní</b>	<b>DV 24/ 48</b>	<b>0,06 24/ 48</b>	<b>0,12 24/ 48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>24h DV/ 0,12</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,12</b>	<b>24h 0,06/ 0,12</b>	<b>48h 0,06/ 0,12</b>
Chloroform	0,8	1,6	2,0	0,7	0,8	1,3	1,9	1,2	1,5
Tetrachlormethan	1,3	0,0	2,8		0,7	1,4	1,5	0,0	1,1
Bromdichlormethan	0,6	0,0	0,0			1,9	2,1		1,1
(E)-1,3-dichlorpropen	0,6	2,2	2,7	0,4	0,4	1,4	1,6	0,9	1,1
Dibromochlormethan	0,6								
1,2-dibromethan					0,0			0,0	

**Příloha 89.** Korelace proměnných přesličky rolní pro přidanou destilovanou vodu (DV), 0,06 M (0,06) nebo 0,12 M (0,12) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Čirůvka fialová</b>	<b>DV 24/48</b>	<b>0,06 24/48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>
Dichlormethan	1,6	1,0	1,7	1,0
1,1-dichlorethan	3,7			
Chloroform	1,6	1,0	1,7	1,1
Tetrachlormethan	3,2	1,6	3,3	1,6
1,2-dibromethan	6,1	2,4	1,9	0,7
Benzylchlorid	1,2	0,8	1,3	0,8

**Příloha 90.** Korelace proměnných čirůvky fialové pro přidanou destilovanou vodu (DV) a 0,06 M (0,06) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Lištička pomerančová</b>	<b>DV 24/48</b>	<b>0,06 24/48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>
Dichlormethan	1,1	0,7	1,2	0,7
Chloroform	1,2	1,0	0,9	0,8
Tetrachlormethan	1,2			

**Příloha 91.** Korelace proměnných lištičky pomerančové pro přidanou destilovanou vodu (DV) a 0,06 M (0,06) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<b>Pečárka nepříjemná</b>	<b>DV 24/48</b>	<b>0,06 24/48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>
Methylbromid	1,3	0,3	0,9	0,2
Dichloroethyn	1,2	0,5	0,5	0,2
Chloroform	1,0	0,7	0,8	0,5
Tetrachlormethan				
1,2-dichlorethan		0,9	0,0	0,0
Trichlorethylen		0,0		0,0
Bromdichlormethan		0,6	0,0	0,0
(E)-1,3-dichlorpropen			0,0	
Tetrachlorethylen	0,0	0,0		0,3

**Příloha 92.** Korelace proměnných pečárky nepříjemné pro přidanou destilovanou vodu (DV) a 0,06 M (0,06) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<i>Fusarium sp.</i>	<b>DV 24/48</b>	<b>0,06 24/48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>
Dichlormethan	1,0	1,3	0,8	1,0
Chloroform	0,6	1,1	0,5	0,9
Benzylchlorid	1,0	0,0		0,9

**Příloha 93.** Korelace proměnných *Fusarium sp.* pro přidanou destilovanou vodu (DV) a 0,06 M (0,06) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<i>Paecilomyces sp.</i>	<b>DV 24/48</b>	<b>0,06 24/48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>
Dichlormethan		1,2	0,0	0,0
Chloroform	0,8	1,1	0,9	1,2
Benzylchlorid	0,4	0,2	0,9	0,4

**Příloha 94.** Korelace proměnných *Paecilomyces sp.* pro přidanou destilovanou vodu (DV) a 0,06 M (0,06) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<i>Truncatella angustata</i>	<b>DV 24/48</b>	<b>0,06 24/48</b>	<b>24h DV/ 0,06</b>	<b>48h DV/ 0,06</b>
Dichlormethan		0,0		0,0
(E)-1,2-dichlorethen			0,0	
Chloroform	1,0	1,0	1,1	1,1
Tetrachlormethan	0,9		1,2	
Benzylchlorid	1,0	0,9	1,1	1,0

**Příloha 95.** Korelace proměnných *Truncatella angustata* pro přidanou destilovanou vodu (DV) a 0,06 M (0,06) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<i>Trichoderma harz.</i>	DV 24/48	0,06 24/48	24h DV/ 0,06	48h DV/ 0,06
Dichlormethan	0,0			
Chloroform	0,7	1,2	1,1	2,0
(E)-1,3-dichlorpropen	0,6			

**Příloha 96.** Korelace proměnných *Trichoderma harzianum* pro přidanou destilovanou vodu (DV) a 0,06 M (0,06) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<i>Geotrichum candidum</i>	DV 24/48	0,06 24/48	24h DV/ 0,06	48h DV/ 0,06
Dichlormethan		0,0		0,0
Chloroform	0,8	0,9	1,4	1,7
Tetrachlormethan	0,7	1,0	1,3	1,9

**Příloha 97.** Korelace proměnných *Geotrichum candidum* pro přidanou destilovanou vodu (DV) a 0,06 M (0,06) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h

<i>Zyg. moelleri</i>	DV 24/48	0,06 24/48	24h DV/ 0,06	48h DV/ 0,06
Dichlormethan	0,7		0,9	
Chloroform	0,9	1,2	1,0	1,4
Tetrachlormethan		1,1	1,0	0,0
Trichlorethylen			0,0	
Benzylchlorid	0,0			

**Příloha 98.** Korelace proměnných *Zygorhynchus moelleri* pro přidanou destilovanou vodu (DV) a 0,06 M (0,06) roztok chloridu sodného po 24 nebo 48 h